



UFRJ

Mateus Góes Castro Meira

**ESTUDO DE CASO DE PROSPECÇÃO GEOMAGNÉTICA NAS BACIAS DE
CAMAMU, ALMADA, JEQUITINHONHA E CUMURUXATIBA**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Programa de Pós-graduação
em Geologia, Instituto de Geociências, da
Universidade Federal do Rio de Janeiro –
UFRJ, como requisito necessário à
obtenção do grau de Especialista em
Geofísica do Petróleo.

Orientadores:

Paula Lúcia Ferrucio da Rocha (UFRJ)
Álvaro Lúcio de Oliveira Gomes (Petrobras)

Rio de Janeiro

Março de 2007

MGL
M514B

MEIRA, Mateus Góes Castro

Estudo de caso de prospecção geomagnética nas bacias de Camamu, Almada, Jequitinhonha e Cumuruxatiba / Mateus Góes Castro Meira - - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2007.

XII:102 : il.; 30cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Geofísica do Petróleo) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia, 2007.

Orientadores: Paula Lúcia Ferrucio da Rocha, Álvaro Lúcio de Oliveira Gomes

1. Geofísica. 2. Geologia de Engenharia e Ambiental – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Rocha, Paula Lúcia Ferrucio da. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia. III. Estudo de caso de prospecção geomagnética nas bacias de Camamu, Almada, Jequitinhonha e Cumuruxatiba.

Mateus Góes Castro Meira

ESTUDO DE CASO DE PROSPECÇÃO GEOMAGNÉTICA NAS BACIAS DE
CAMAMU, ALMADA, JEQUITINHONHA E CUMURUXATIBA

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Programa de Pós-graduação
em Geologia, Instituto de Geociências, da
Universidade Federal do Rio de Janeiro –
UFRJ, como requisito necessário à
obtenção do grau de Especialista em
Geofísica do Petróleo.

Orientadores:

Paula Lúcia Ferrucio da Rocha (UFRJ)
Álvaro Lúcio de Oliveira Gomes (Petrobras)

Aprovada em: 28.03.2007

Por:

Paula Lúcia Ferrucio da Rocha (UFRJ)

Álvaro Lúcio de Oliveira Gomes (Petrobras)

UFRJ
Rio de Janeiro
2007

Este trabalho é dedicado ao planeta Terra, a
Deus e a Edirani Pacífico Góes.

Agradecimentos

À PETROBRAS S.A. pela oportunidade e pelo apoio.

A minha orientadora Paula Lúcia Ferrucio da Rocha pela atenção e desprendimento.

Ao Coordenador do curso de formação de geofísicos da PETROBRAS S.A., Álvaro Gomes pela expedita solução dos problemas encontrados.

Ao geofísico Glauco Bragança Dias da Silva por disponibilizar o excelente estudo de caso.

Aos geofísicos da PETROBRAS S.A. Marco Pólo e Julio Lyrio.

Aos meus Colegas de equipe pelo excepcional trabalho.

Aos meus colegas de turma pelas trocas de idéias e por criarem um ambiente fértil para a realização deste trabalho.

A meus tios (Santana e Rita) e primos pelo apoio incondicional ao longo de todo o trabalho.

A minha esposa Milena.

A minha família.

Resumo

MEIRA, Mateus Góes Castro. **Estudo de caso de prospecção geomagnética nas bacias de Camamu, Almada, Jequitinhonha e Cumuruxatiba**. 2007. xii, 102p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Geofísica do Petróleo) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Neste trabalho, o autor reúne informações geológicas obtidas através de observações magnetométricas realizadas nas bacias de Camamu, Almada, Jequitinhonha e Cumuruxatiba. Na primeira parte, são apresentadas a localização, limites, geologia estrutural e estratigráfica e geologia do petróleo de cada uma dessas bacias. Na segunda parte são apresentados os fundamentos, aproximações e limites do método magnético, assim como os aparelhos utilizados e particularidades na aquisição processamento e interpretação dos dados obtidos. Na terceira parte realiza-se um estudo de caso acerca de dissertação que analisa a superfície Curie na região Bahia Sul através da Análise espectral sobre dados aeromagnéticos de alta resolução.

Palavras-chave: Magnetismo; Camamu; Geofísica.

Abstract

MEIRA, Mateus Góes Castro. **Estudo de caso de prospecção geomagnética nas bacias de Camamu, Almada, Jequitinhonha e Cumuruxatiba. [Case History of geomagnetic survey at Camamu, Almada, Jequitinhonha and Cumuruxatiba basins.]** 2007. XII, 102p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Geofísica do Petróleo) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

In this work, the author congregates gotten geologic information carried through magnetometrics comments in the basins of Camamu, Almada, Jequitinhonha and Cumuruxatiba. In the first part, the localization, limits, structural and stratigraphic geology and geology of the oil of each one of these basins are presented. In the second part, the beddings are presented, approaches and limits of the magnetic method, as well as the used devices and particularities in the acquisition, processing and interpretation of the gotten data. In the third part, a study of case concerning of a dissertation analyzes the surface Curie in the region Bahia South through the spectral Analysis on high resolution aeromagnetic data.

Key-Words: *Magnetic; Camamu; Geophysics*

Lista de Figuras

Figura 01: Localização, limites e arcabouço estrutural da bacia de Camamu, Almada, Jequitinhonha e Cumuruxatiba. (Fonte: Silva, 2005).....	03
Figura 02: Carta estratigráfica da bacia de Camamu. (Fonte: NETTO et al., 1994)..	07
Figura 03: Seção geológica esquemática da bacia de Camamu. (Fonte: Banco de Dados de Exploração e Produção da ANP, 2001, Sítio: http://www.brasil-rounds.gov.br/geral/ATIV_secoes_e_cartas_R9.asp).....	10
Figura 04: Mapa geológico da porção sul da bacia de Camamu. (Fonte: LIMA et al., 2003).....	12
Figura 05: Carta estratigráfica da bacia do Almada. (Fonte: Banco de Dados de Exploração e Produção da ANP, 2005. Sítio: http://www.brasil-rounds.gov.br/geral/ATIV_secoes_e_cartas_R9.asp).....	13
Figura 06: Mapa de concessões das bacias de Camamu-Almada, Jequitinhonha e Cumuruxatiba, (fonte: Banco de Dados de Exploração e Produção da ANP, 2006, Sítio: http://www.brasil-rounds.gov.br/geral/ATIV_secoes_e_cartas_R9.asp).....	16
Figura 07: Seção geológica da bacia de Jequitinhonha. Note a posição relativa das formações (Fonte: http://www.brasil-rounds.gov.br/geral/secoes/sg_jequitinhonha.pdf).....	19
Figura 08: Carta estratigráfica da bacia de Jequitinhonha (Fonte: http://www.brasil-rounds.gov.br/geral/cartas/ce_jequitinhonha.pdf).....	20
Figura 09: Seção geológica esquemática da bacia do Jequitinhonha (Fonte: www.phoenix.org.br/Phoenix59_Nov03.htm).....	21
Figura 10: Carta estratigráfica da bacia de Cumuruxatiba. (Fonte: Boletim de Geociências da Petrobras, numero 1, volume 8, 1994).....	27
Figura 11: Seção geológica esquemática mostrando a rota de migração do óleo do sistema petrolífero Cricaré-Cricaré (Fonte : www.anp.gov.br/brasilrounds/round4/round4/workshop/restrito/portugues/Cumuruxatiba_port.PDF)	33
Figura 12: Carta do sistema petrolífero Cricaré-Cricaré. (Fonte: http://www.anp.gov.br/brasilrounds/round4/round4/workshop/restrito/portugues/Cumuruxatiba_port.PDF).	34

Figura 13: Seção geológica esquemática mostrando a rota de migração do óleo do sistema petrolífero Regência-Urucutuca . (Fonte: http://www.anp.gov.br/brasilrounds/round4/round4/workshop/restrito/portugues/Cumuruxatiba_port.PDF).....	35
Figura 14: Carta do sistema petrolífero Regência-Urucutuca. (Fonte: http://www.anp.gov.br/brasilrounds/round4/round4/workshop/restrito/portugues/Cumuruxatiba_port.PDF).....	37
Figura 15: Momento do dipolo magnético.....	41
Figura 16: Elementos do campo geomagnético.....	47
Figura 17: Esquema de montagem do magnetômetro de precessão de prótons, onde H_e é o campo magnético da Terra. E H_p é o campo magnético perpendicular gerado pela passagem da corrente I_p (Adaptado de http://www.gemsys.ca/PDFDocs/Proton%20Precession%20Magnetometer.pdf).....	50
Figura 18: Esquema ilustrativo do funcionamento do magnetômetro “fluxgate” (Adaptado de www-ssc.igpp.ucla.edu/personnel/russell/ESS265/History.html).....	53
Figura 19: Esquema ilustrativo do magnetômetro de bombeamento óptico	55
Figura 20: Localização da área de estudo.....	64
Figura 21: Esquema ilustrativo da localização das fontes magnéticas.....	67
Figura 22: Mapa de localização do levantamento aeromagnetométrico.....	71
Figura 23: Mapa de anomalia free-air	74
Figura 24: Mapas de anomalias Bouguer simples.....	75
Figura 25: Mapa Topográfico-Batimétrico.....	78
Figura 26: Mapa de anomalia Bouguer Residual (trend 3º ordem removido). Linhas amarelas pontilhadas (zonas de acomodação), linhas amarelas cheias (lineamentos gravimétricos), linhas pretas (falhas do embasamento).....	80
Figura 27: Mapa do campo magnético residual.....	81
Figura 28: Mapa da amplitude do Sinal Analítico do Campo Magnético Residual. Linhas brancas pontilhadas (feições de máximas amplitudes).....	85
Figura 29: Mapa do arcabouço estrutural destacando as principais feições magnéticas e gravimétricas da área.....	86
Figura 30: Mapa de contorno da profundidade da Superfície Curie.....	89
Figura 31: Mapa de contorno Bouguer residual sobreposto a profundidade da Superfície Curie.....	91

Figura 32: Mapa Composto da fase do sinal analítico com a profundidade da Superfície Curie.....	93
Figura 33: Mapa da profundidade da Superfície Curie e arcabouço estrutural da área, com os principais lineamentos definidos neste estudo.....	95
Figura 34: Mapa 3D da profundidade da Superfície Curie com as localizações das seções geológico-geofísicas construídas com base nos métodos potenciais analisados neste estudo.....	97
Figura 35: Seção geológico-geofísica 1 indicada no mapa 3D.....	97
Figura 36: Seção geológico-geofísica 2 indicada no mapa 3D.....	98
Figura 37: Seção geológico-geofísica 3 indicada no mapa 3D.....	98

Sumário

Agradecimentos	v
Resumo	vi
<i>Abstract</i>	vii
Lista de Figuras	viii
Sumário.....	xi
1 GEOLOGIA	1
1.1 Bacia de Camamu-Almada.....	1
1.1.1 Localização e extensão geral.....	1
1.2 Bacias de Jequitinhonha e Cumuruxatiba	1
1.2.1 Localização e extensão geral.....	1
2 OBJETIVOS.....	4
3 MÉTODO.....	5
4 GEOLOGIA DA REGIÃO.....	6
4.1 Bacia de Camamu-Almada.....	6
4.1.1 Geologia estrutural e estratigráfica das bacias de Camamu-Almada.....	6
4.1.2 Geologia do petróleo das bacias de Camamu-Almada.....	14
4.2 Bacia de Jequitinhonha.....	16
4.2.1 Geologia estrutural e estratigráfica da bacia de Jequitinhonha.....	16
4.2.2 Prospectividade para hidrocarbonetos.....	22
4.3 Bacia de Cumuruxatiba.....	23
4.3.1 Geologia estrutural da bacia de Cumuruxatiba.....	23
4.3.2 Geologia estratigráfica da bacia de Cumuruxatiba.....	26
4.3.3 Sistema petrolífero.....	31
5 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	38
5.1 Magnetometria.....	38
5.1.1 Fundamentos.....	40
5.1.2 Propriedades Magnéticas dos Materiais Geológicos.....	44
5.1.3 Campo Magnético da Terra.....	46
5.1.4 Correções de dados magnéticos.....	48

5.1.5 Magnetômetros.....	49
5.1.5.1 Generalidades	49
5.1.5.2 O magnetômetro de precessão de prótons.....	50
5.1.5.3 Magnetômetro “Fluxgate”	51
5.1.5.4 Magnetômetros de bombeamento óptico (Optically pumped magnetometers)	53
5.2 Processamento e interpretação.....	55
5.2.1 Processamento.....	55
5.2.2 Interpretação e aspectos estruturais.....	56
5.3 Aquisição.....	58
5.3.1 Levantamentos magnéticos aéreos.....	59
5.3.2 Levantamentos magnéticos aquáticos.....	60
5.3.3 Levantamentos magnéticos terrestres.....	60
6 ESTUDO DE CASO.....	62
6.1 Introdução.....	62
6.2 Localização da área de estudo.....	63
6.3 Estruturação do trabalho.....	64
6.4 Temperatura Curie.....	69
6.5 Dados Aeromagnéticos.....	70
6.6 Dados complementares.....	73
6.7 Mapa Topográfico-Batimétrico.....	76
6.8 Mapa de Anomalia Magnética.....	81
6.9 Mapa de Amplitude do Sinal Analítico.....	83
6.10 Superfície Curie.....	87
6.11 Integração dos Dados.....	90
7 CONCLUSÃO.....	99
Referências bibliográficas	100

1 INTRODUÇÃO

1.1 Bacia de Camamu-Almada

1.1.1 Localização e extensão geral

A localização da bacia de Camamu-Almada situa-se na margem continental brasileira entre os paralelos 13° e 14°15'S e entre os meridianos 38° e 39°10'W, que fica entre as cidades de Salvador e Ilhéus no litoral sul do Estado da Bahia constituindo o prolongamento sul do sistema rifte Recôncavo-Tucano.

A área da bacia de Camamu se estende por 16.500 km², a de Almada por 6.400 km², totalizando 22.900 km² e alcançando 3000 m de cota batimétrica.

Os limites geológicos da bacia são determinados pela falha da Barra (alto de Salvador) e da zona de acomodação de Jaguaripe, que separa as bacias de Camamu-Almada do Recôncavo (Figura 1); ao sul tem-se o alto de Olivença, que delimita as bacias de Camamu-Almada e Jequitinhonha; à oeste o embasamento Proterozóico que aflora na região perto da costa e a leste pelo alto de Taipus.

1.2 Bacias de Jequitinhonha e Cumuruxatiba

1.2.1 Localização e extensão geral

A bacia de Jequitinhonha localiza-se ao sul do Estado da Bahia na região do rio Jequitinhonha, possuindo mais de 90% de sua extensão (9500 km^2) em mar e o resto em áreas continentais (600 km^2).

Ao norte, o alto de Olivença a separa da bacia de Camamu-Almada e ao sul o banco Vulcânico Royal Charlotte estabelece a fronteira com a bacia Cumuruxatiba. Sendo que a bacia de Jequitinhonha também faz limite com a borda sul do Cráton do São Francisco o que determina um embasamento constituído por rochas graníticas e gnáissicas.

A bacia de Cumuruxatiba localiza-se em porções emersas e submersas do nordeste brasileiro, no extremo sul do Estado da Bahia, entre as cidades de Caravelas e Porto Seguro (Figura 1).

Em sua porção emersa se estende ao longo do litoral entre as cidades de Alcobaça e Porto Seguro, com área de aproximadamente 7.000 km^2 , encontram-se somente sedimentos terciários sobre o embasamento cristalino.

A área submersa, até a cota batimétrica de 2.500 m, possui em torno de 14.000 km^2 , sendo 9.000 km^2 até a lâmina d'água de 400 m e uma parte de águas profundas de 5.000 km^2 , de lâmina d'água de 400 m a 2.500 m.

Está circundada pelos bancos vulcânicos de Royal Charlotte, a norte, Abrolhos, a sul e Sulphur Minerva, a Leste.

Quarenta e seis poços de exploração foram furados na bacia resultando nas acumulações dos campos de 1-BAS-104 (gás e condensado) e de Arraia (gás e óleo) em Cumuruxatiba (CARVALHO, 1965).



Figura 1: Localização, limites e arcabouço estrutural da bacia de Camamu, Almada, Jequitinhonha e Cumuruxatiba. (Fonte: Silva, 2005).

2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é realizar um levantamento bibliográfico dos dados geofísicos obtidos nas bacias de Jequitinhonha, Cumuruxatiba, Camamu e Almada, em especial os oriundos de levantamentos geomagnéticos.

Especial enfoque é dado neste trabalho aos métodos de tratamento dos dados, conquanto esta é uma fase de grande importância que permite análises mais confiáveis do dado, na medida em que se separa o ruído espúrio do dados em si, Também focaliza-se a fase de processamento dos dados e análise dos resultados, onde busca-se maximizar as informações que podem ser extraídas dos mesmos.

O método magnético tem sua principal aplicação no delineamento dos contornos regionais das anomalias magnéticas no interior das bacias, não obstante, hoje já exista um significativo avanço na resolução dos dados, possibilitando análises mais detalhadas dos dados geomagnéticos.

3 MÉTODO

O método que foi utilizado para a realização deste trabalho foi a pesquisa bibliográfica realizada nas mais diversas publicações como a Revista brasileira de Geofísica, Boletim de Geociências da Petrobras, dissertações e teses, além de artigos oriundos de outras fontes.

Para a realização desta pesquisa foram utilizados os acervos da biblioteca da UFRJ, da Petrobras, além da procura em sites da internet, em especial o do Instituto Phoenix (www.phoenix.org.br).

Outra fonte de especial importância na realização desta pesquisa foi a tese de mestrado do geofísico Glauco Bragança Dias da Silva, geofísico pleno da Petrobras, feita no Observatório Nacional sob a orientação de Luis Fernando Santana Braga em 2005 e que tem como título “A superfície Curie na região Bahia Sul – Análise espectral sobre dados aeromagnéticos de alta resolução”, pela sua ampla análise de uma grande gama de dados magnéticos e sua exemplar integração destes com outros dados geofísicos, representando uma grande contribuição do autor para o acúmulo de conhecimentos geológicos acerca das bacias.

4 GEOLOGIA DA REGIÃO

4.1 Bacia de Camamu-Almada

4.1.1 Geologia estrutural e estratigráfica das bacias de Camamu-Almada

As bacias de Camamu-Almada apresentam em sua geologia três fases geotectônicas como Pré-Rift, Rift e Pós-Rifte.

Na fase inicial Pré-Rifte predomina um estilo de sinéclise intracontinental no período neojurássico a neocomiano inferior. As rochas sedimentares mais antigas datam do início do Permiano (Formação Afligidos). Na fase Rift a deposição sedimentar da bacia é predominantemente de siliciclásticos, porém ocorrem depósitos evaporíticos e carbonáticos combinado com um regime distensivo e intenso.

A Figura 2 mostram que na deposição Pré-Rifte é basicamente caracterizada como uma intercalação de pacotes predominantemente arenosos com pacotes de folhelhos, enquanto que o preenchimento sinrifte é inicialmente caracterizado pela deposição de clásticos grosseiros, conglomerados e arenitos associados a sistemas aluvionares/fluviais na porção norte do sistema de bacias Rift preservado na margem brasileira. Já no andar Rio da Serra / Aratu, na porção sul, a deposição clástica aumenta, e na porção norte começam a ocorrer sistemas lacustres com sistemas deltáicos marginais. No andar Buracica / Jiquiá a deposição de rochas vulcânicas concentra-se em zonas fraturadas e ocorre o desenvolvimento de margens carbonáticas lacustres com sistemas aluvionares posicionados

anteriormente, os quais são característicos na região sul e norte do sistema de Rifte. Por fim, no andar Alagoas ocorre uma deposição clástica localizada. Devido a ambientes marinhos rasos com clima árido com alta taxa de evaporação para praticamente toda a margem brasileira há ocorrência de grandes depósitos evaporíticos.

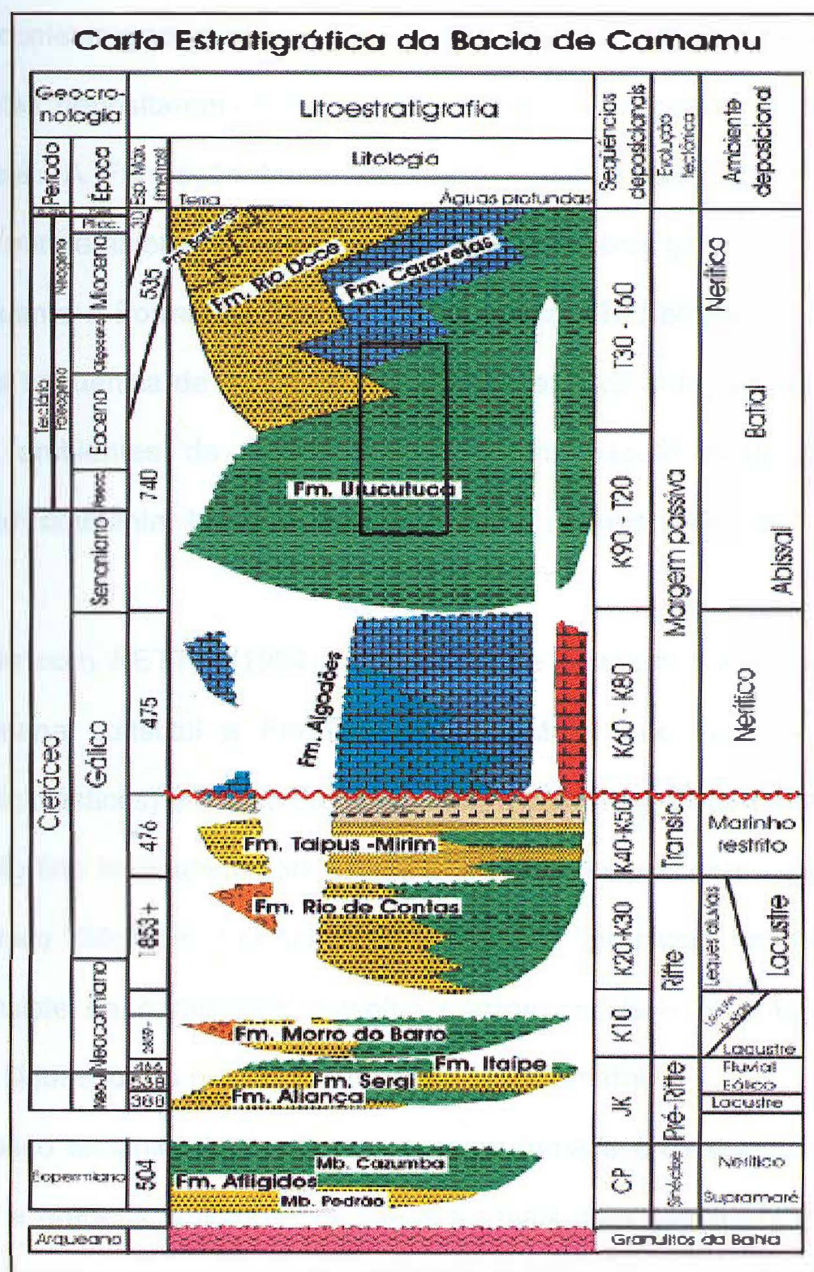


Figura 2: Carta estratigráfica da bacia de Camamu. (Fonte: NETTO et al., 1994).

A bacia sinrife lacustre foi preenchida por folhelhos, sedimentos finos, do Membro Jiribatuba que gradam a arenitos e sedimentos clásticos grossos, nas regiões mais proximais do Membro Tinharé; no conjunto, estas unidades constituem a Formação Morro do Barro.

A ausência de fósseis marinhos associados à presença de ostracodes não-marinhos e o contexto geológico regional indicam que as formações Morro do Barro e Rio de Contas depositaram-se numa bacia lacustre formada durante a fase de extensão crustal. A Formação Morro do Barro é interpretada como produto da sedimentação num ambiente subaquoso dominado por fluxos gravitacionais em lago profundo, enquanto a Formação Rio de Contas, entre o Barremiano e o eoaptiano, apresenta uma seqüência de fácies, da área proximal para a distal, que indica uma sucessão de ambientes de leques deltaicos, um pacote misto siliciclástico-carbonático de ambiente lacustre foi depositado sobrejacentes aos evaporitos Taipus-Mirim.

De acordo com NETTO (1994), um pacote de evaporitos e siliciclásticos de idade neoaptinana constitui a Formação Taipus-Mirim que engloba o Membro Serinhaém (siliciclásticos) e o Membro Igrapiúna (evaporitos). Esta unidade consiste de arenito muito fino intercalado com siltitos e folhelhos negros com elevado teor de carbono orgânico (Membro Serinhaém); o Membro Igrapiúne recobre a seção anterior e consiste de carbonatos, folhelho marrom, halita e anidrita, com barita associada em alguns locais nas bacias de Almada e Camamu.

O arcabouço tectônico da bacia de Camamu-Almada é caracterizado por uma série de *horst* e grábens limitados por falhas normais com direção NNE-SSW com mergulho predominante para leste (Figura 3). Várias zonas de acomodação como as de Jaguaribe e Mutá (Figura 1), transversais ao eixo do Rife, deram ascensão à

formação das plataformas estruturais e das sub-bacias restritas, geradas pelos movimentos distensivos provenientes da abertura do oceano Atlântico, as quais controlam a formação das rochas geradoras e das rochas reservatórios nas bacias de Rife.

A falha de Maragogipe (Figura 4) é denominada falha de borda da bacia, de um compartimento de embasamento raso, adjacente à costa, no bloco alto das falhas de Mutá e de Aritaguá; de um compartimento intermediário, no bloco baixo da falha de Mutá que se estende até a falha de Camamu; e a região de águas profundas, onde a seção sedimentar pode atingir cerca de 8.000 m de profundidade. Na região mais profunda verifica-se a existência de domos de sal e a presença da falha de Jequitinhonha-Almada. Essas grandes falhas que formam o arcabouço estrutural da bacia têm uma direção NNE, sendo cortadas transversalmente por falhas de transferência, como por exemplo, a da Cova da Onça. O alto de Taipus é definido pelas falhas transcorrentes que passam ao norte da Ilha Grande perto das cidades de Marau e Itacaré.

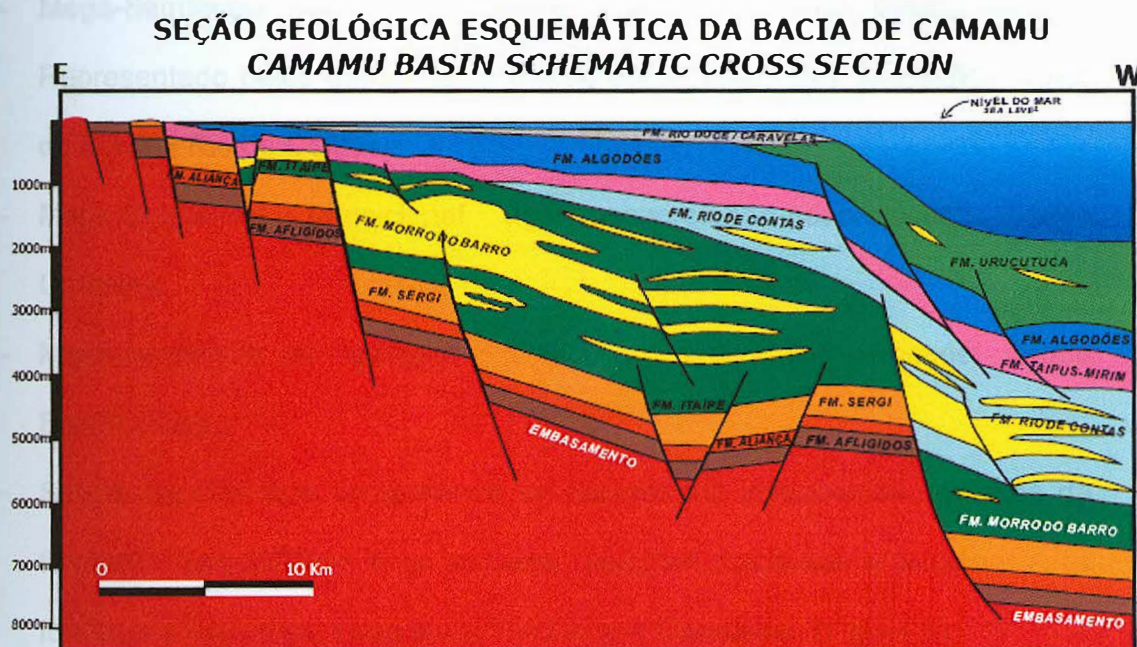


Figura 3: Seção geológica esquemática da bacia de Camamu. (Fonte: Banco de Dados de Exploração e Produção da ANP, 2001. Site: http://www.brasil-rounds.gov.br/geral/ATIV_secoes_e_cartas_R9.asp).

Alguns intervalos litológicos dessa bacia apresentam semelhanças ao encontrado nas seções equivalentes de áreas vizinhas, e assim delas obtiveram suas denominações litoestratigráficas. Como por exemplo, podemos citar a Formação de Afligidos e o pacote Pré-Rifte das formações Aliança e Sergi, que fazem parte da estratigrafia da bacia do Recôncavo (Figura 2).

A litoestratigrafia da bacia de Camamu-Almada pode ser descrita como uma sucessão de seqüências tais como:

- Mega-Seqüência Pré-Rifte do eopermiano-Triássico subdividida na Formação Afligidos – Membro Pedrão e Cazumba – e Grupo Brotas que é composta pelas formações Aliança, Sergi e Itaípe. Esta seqüência agrupa os sedimentos flúvio-lacustre juro-eocretáceos com retrabalhamento eólico das formações Aliança, Sergi e Itaípe. A Formação Itaípe representa a transição da fase Pré-Rifte para a fase Rife;

- Mega-Sequência Rifte do Barriasiano – Aptiano Inferior: Grupo Almada. Representado pelos depósitos lacustres eocretáceos das formações Morro do Barro e Rio de Contas;
- Mega-Sequência transicional do mesocretáceo-neocretáceo: Grupo Camamu;
- Mega-sequência de Margem Passiva do neocretáceo-Plioceno: Grupo Espírito Santo;
- Sequência Drift que compreende os sedimentos transicionais aptianos da formação Taipus-Mirim e os estratos marinhos cretáceos e terciários, das formações Algodões, Urucutuca, Rio Doce e Caravelas. (Figura 3)

Na sequência Pós-Rift ou marinha há ocorrência de falhas lítricas normais associada com o peso dos sedimentos sobrejacentes.

Com o mar raso formou-se uma plataforma carbonática, com a deposição dos calcarenitos e calcilutitos da Formação Algodões (BIZZI *et al.*, 2003).

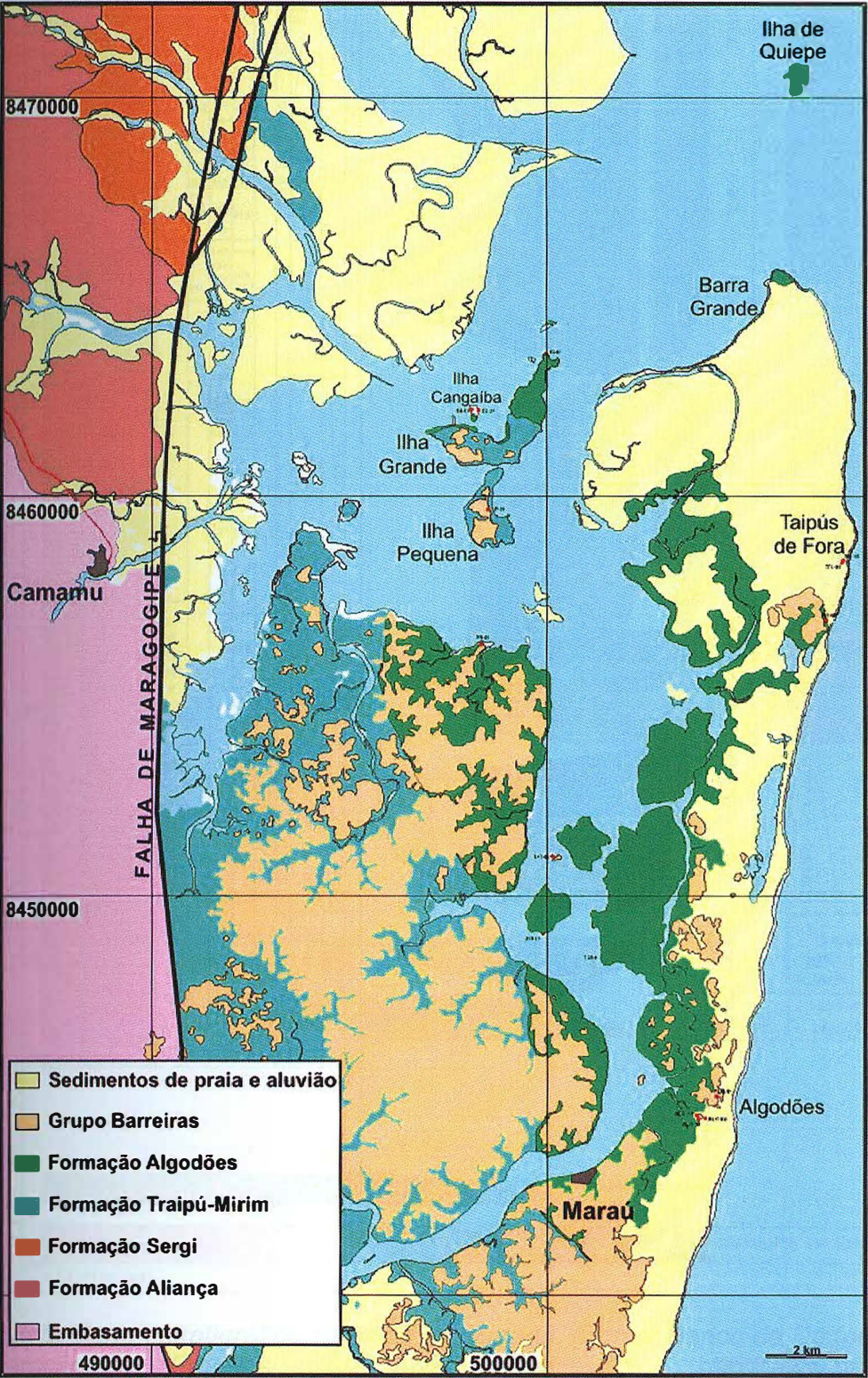


Figura 4: Mapa geológico da porção sul da bacia de Camamu. (Fonte: LIMA et al., 2003)

A Figura 4 mostra o afloramento das formações Aliança e Sergi (Pre-Rift), a porção superior da Formação Taipus-Mirim, a Formação Algodões e também o Grupo Barreiras.

A Formação Urucutuca é constituída por um depósito de folhelhos a partir do Cretáceo Superior cujo contato basal se dá com os calcários da Formação Algodões por discordância regional de caráter erosivo (NETTO *et al.*, 1994).

A carta estratigráfica da bacia do Almada (Figura 6) se assemelha com a carta estratigráfica da bacia de Camamu (Figura 2). De acordo com BIZZI *et al.* (2003), na região de águas profundas, além da quebra do talude, poços exploratórios caracterizaram a ocorrência de sedimentos siliciclásticos intercalados com evaporitos, provavelmente equivalente ao sal Aptiano mais antigo.

4.1.2 Geologia do petróleo das bacias de Camamu-Almada

A indústria petrolífera foi gradualmente percebendo, ao longo de décadas de exploração que, para se encontrar jazidas de hidrocarbonetos de volume significativos era imprescindível que um determinado número de requisitos geológicos ocorresse simultaneamente nas bacias sedimentares. Neste caso, o sincronismo que faz com que as rochas geradoras, reservatórios, selantes, trapas e migração se originem e se desenvolvam em uma escala de tempo adequada para a formação e acumulações de petróleo.

As rochas geradoras da Bacia de Camamu-Almada revelam que as principais rochas geradoras são folhelhos negros lacustres de água doce à salobra da Formação Morro do barro do Membro Jiribatuba depositados durante a fase Rife no neocomiano inferior e a Formação Rio de Contas da seção Rife. A preservação da

matéria orgânica foi favorecida pelo clima árido e pelas condições anóxicas do fundo do lago.

As rochas reservatórios são formadas pelos arenitos flúvio-eólicos da Formação Sergi, os arenitos desenvolvidos em ambientes de leques aluviais ou lacustres das formações Morro do Barro e Rio de Contas e os arenitos turbidíticos da Formação Urucutuca. Os folhelhos constituem as rochas seladoras da bacia.

As armadilhas de hidrocarbonetos da seqüência Pré-Rifte podem ser exclusivamente estruturais, associadas a *horsts* ou meio-grábens ou por discordâncias. Para a seqüência Rifte, as armadilhas são basicamente associadas por falhas lítricas. Na seqüência Drifte, as trapas são sempre estratigráficas, constituídas por envoltórios dos folhelhos nas seções turbidíticas, restritas ao ambiente de talude.

De acordo com GOLÇALVES (2001) e LIMA *et al.* (2003) a bacia de Camamu contém algumas acumulações de óleo e gás em terra e no mar, todas consideradas como originadas a partir das rochas geradoras lacustres eocretáceas da Formação Morro do Barro, seguidas pelos reservatórios neojurássicos da Formação Sergi, associados a arenitos flúvio-eólicos.

Com o fim de aumentar a exploração de hidrocarbonetos nas bacias de Camamu-Almada, Jequitinhonha e Cumuruxatiba, a Agência Nacional do Petróleo (ANP) dispôs vários blocos de concessões para as empresas de Petróleo pudessem fazer exploração conforme mostra a Figura 6.

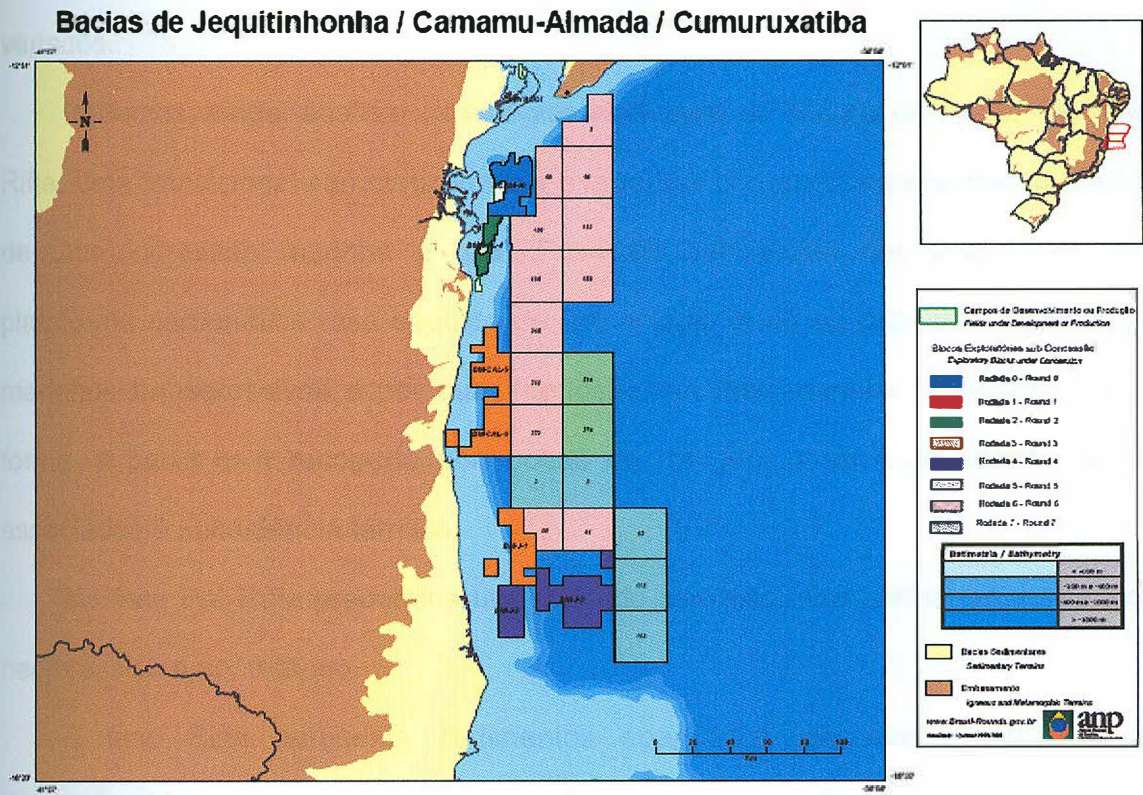


Figura 6: Mapa de concessões das bacias de Camamu-Almada, Jequitinhonha e Cumuruxatiba, (fonte: Banco de Dados de Exploração e Produção da ANP, 2006. Sítio: http://www.brazil-rounnds.gov.br/geral/ATIV_secoes_e_cartas_R9.asp).

4.2 Bacia de Jequitinhonha

4.2.1 Geologia estrutural e estratigráfica da bacia de Jequitinhonha

Pode-se dividir a bacia em duas grandes áreas geográficas para estudo: a porção norte e a sul. A primeira, ao contrário da segunda, é formada pela continuação do alto de Olivença tanto em terra quanto em mar.

Na parte marítima esta extensão se prolonga por poucos quilômetros recobertos de sedimentos do Terciário. Ela é separada por falhas normais de uma

área mais distante da costa que, por sua vez, é recoberta de sedimentos mais variados.

Podemos, ainda, analisar os estágios evolutivos da história da bacia: Pré-Rifte, Rifte, uma transicional caracterizada por evaporitos neo-aptianos que marca o início de uma ingressão marinha e uma Pós-Rifte subdividida em uma Drifte com plataforma carbonática rasa seguido de um estágio onde se depositou sedimentos marinhos transgressivos e por outro depósito em fase marinha regressiva. Desta forma, a bacia está recoberta por rochas de margem passiva do oceano aberto associadas à subsidência térmica.

Na fase Pré-Rifte predomina um estilo de sinéclise intracontinental no período neojurássico a eocretáceo.

A fase Rifte apresenta sedimentos eoaptianos clásticos e folhelhos da Formação Mariricu depositados em ambiente fluvio-lacustre apresentando maior espessura na parca região terrestre e marinha mais ao sul.

A fase evaporítica é caracterizada por uma transição entre a fase Rifte e a Drifte onde o oceano começa a evaporar e vários sedimentos decantam (halitas e anídricas tipicamente). Nesta fase vemos os sedimentos descontinuadamente intercalados com arenitos costeiros.

Na fase Drifte houve deposição de sedimentos carbonáticos de energia variada na Formação Regência. Nas porções mais próximas do continente houve deposição de sedimentos clásticos grosseiros na Formação São Matheus. A sobrecarga de sedimentação acabou por intensificar a subsidência flexural.

Após este fenômeno, ocorreu uma deposição (Grupo Espírito Santo) em ambiente marinho transgressivo constituído por pelitos com arenitos finos

intercalados. Logo depois, mais exatamente durante o Eoceno, a bacia entra em uma fase marinha regressiva caracterizada por um sistema de leques aluviais e carbonatos de plataforma e folhelhos batiais.

Durante o Mioceno ocorre o último esfriamento térmico ocasionado pelo afastamento da bacia em relação à dorsal. Os evaporitos formam domos cada vez maiores que, eventualmente, atingem a superfície sendo diluídos ou cobertos por camadas de sedimentos. Há vários exemplos de sedimentos aprisionados por estes enormes domos paralelos à costa.

Existem diversas formações na bacia do Jequitinhonha (ver Figuras 7, 8 e 9), por exemplo, temos a Formação de Urucutuca, Rio Doce, Caravelas, São Matheus, Regência, Mariricu, Barreiras, Itaunas, Mucuri e Abrolhos (misto sedimentar e vulcânico).

A Formação Regência é constituída por rochas calcárias de alta e baixa energia depositadas em porções marítimas distantes da costa.



Carta Estratigráfica da Bacia de Jequitinhonha

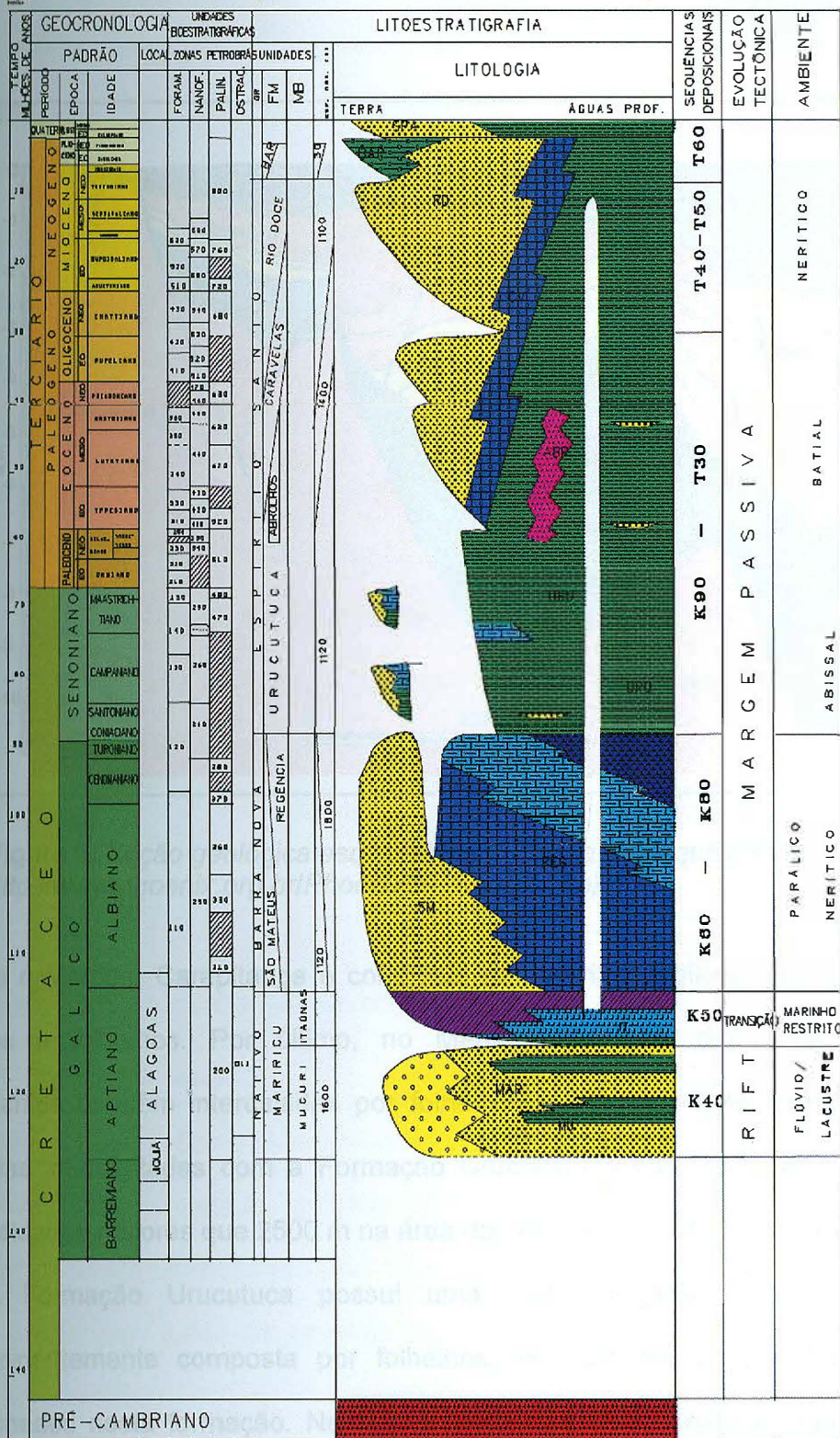


Figura 8: Carta estratigráfica da bacia de Jequitinhonha. (Fonte: http://www.brasil-rounds.gov.br/gerall/cartas/ce_jequitinhonha.pdf)

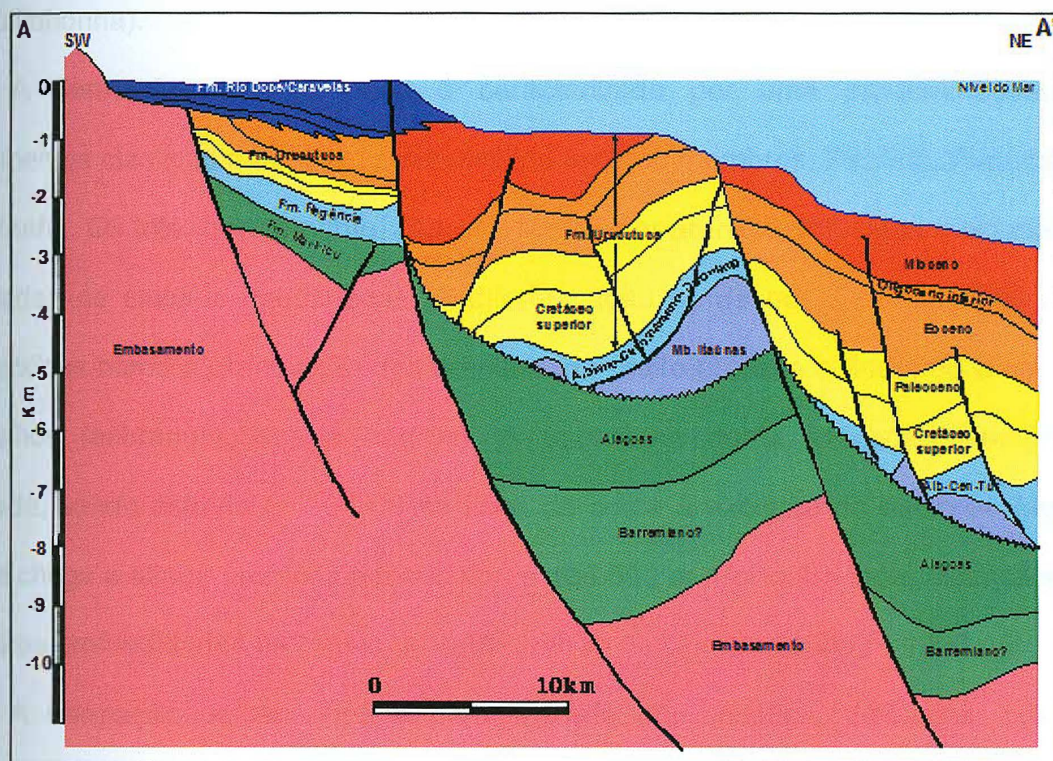


Figura 9: Seção geológica esquemática da bacia do Jequitinhonha. (Fonte: http://www.phoenix.org.br/Phoenix59_Nov03.htm)

Já o Membro Carapitanga é composto por micritos argilosos intercalados por arenitos e folhelhos. Por último, no Membro Caranha têm-se biomicritos e bioesparitos também intercalados por folhelhos e arenitos. Esta formação possui fronteiras interdigitadas com a Formação Urucutuca e Rio Doce, além de atingir profundidades maiores que 2500 m na área do semi-gráben de Cumuruxatiba.

A Formação Urucutuca possui uma matriz argilosa com sua litologia predominantemente composta por folhelhos, também há arenitos bastante mal selecionados nesta formação. Nela é encontrada em uma extensa faixa da parte continental da bacia e sua espessura é bastante diversa: ausente na região do alto vulcânico de Royal Charlotte, chega a atingir expressivos 3000 m no semi-gráben de

Cumuruxatiba (outro marco importante são os 1400 m atingidos no gráben de Jequitinhonha).

A Formação de Rio Doce é caracterizada por uma predominância de sedimentos clásticos e também é subdividida em três membros: Piraúna, Pirapitanga e Piranha. Os três, basicamente, são compostos por arenitos, folhelhos e ocasionais camadas de calcário intercaladas. A diferenciação se dá por características mais específicas como a granulação dos arenitos (de muito grossos a finos) ou a cor dos folhelhos (esbranquiçados a negros). A espessura desta formação também é variada, sendo estreita (~ 100 m) na linha da costa à exceção do baixo de Mucuri onde chega a atingir profundidades maiores que 500 m. Por outro lado, alcança suas maiores profundidades na região do semi-gráben de Cumuruxatiba (~ 1000 m).

A Formação de Abrolhos é caracterizada por basaltos, diabásios, tufo e brechas vulcânicas. É uma formação mista de rochas vulcânicas intrusivas e sedimentares.

4.2.2 Prospectividade para hidrocarbonetos

A porção sul da bacia possui poucos indícios de óleo, contudo na Formação de Regência já foi encontrado um reservatório sem valor comercial com óleo leve ($API > 39^\circ$) e existe um poço produtor na região (fonte: ANP citado por CARVALHO, 2005), sendo que todas as ocorrências, até 2005, foram no sistema petrolífero Regência-Mariricu(!).

Em média, as rochas geradoras da Formação Regência, Mariricu e Urucutuca possuem um bom potencial gerador. Na Formação Regência as trapas são, em sua maioria, estruturais e os reservatórios estão selados por evaporitos.

A parca extensão da base dados é um obstáculo a ser ultrapassado a fim de se compreender completamente a estrutura petrolífera da área. Contudo a expectativa de se achar hidrocarbonetos comerciais na área é grande como foi citado pelo Gerente Executivo de Exploração da Petrobras, Paulo Mendonça, na *Rio Oil & Gás* 2006:

“[...] Não se surpreendam se as próximas descobertas da Petrobras ocorrerem na Bacia do Jequitinhonha. Elas só não aconteceram até agora porque ainda não perfuramos lá”

4.3 Bacia de Cumuruxatiba

4.3.1 Geologia estrutural da bacia de Cumuruxatiba

O arcabouço estrutural da bacia é composto por cinco compartimentos identificados em uma análise regional de sua porção marítima, com base em dados de sísmica de reflexão e poços (SANTOS & GONTIJO, 1992), a saber: Embasamento Raso, Patamar da Anidrita, Degrau Interno, Baixo Sul e Baixo Norte. Os limites destes compartimentos são formados por falhamentos associados a linhas de charneira que serviram para a deposição das seções sedimentares encontradas (SANTOS & GONTIJO, 1992).

A região do embasamento raso situa-se na parte terrestre e na porção marinha próxima à costa, encontrando-se intensamente estruturada, de acordo com a análise de linhas sísmicas situadas sobre este compartimento. O embasamento é recoberto

por sedimentos terciários, com espessuras não superiores a 1.000 m (SANTOS & GONTIJO, 1992).

O patamar da Anidrita situa-se na porção centro-oeste da bacia, caracterizando-se por uma feição homoclinal, com mergulho suave para leste, onde a espessura sedimentar varia de 750 m a 1.900 m. É identificado sismicamente através de um refletor de baixa frequência, alta amplitude e boa continuidade lateral. Registra a presença de seção Aptiana, onde ocorrem *onlaps* dos sedimentos proximais albo-cenomanianos (SANTOS & GONTIJO, 1992).

Em direção às porções mais profundas da bacia, encontra-se a região do Degrau Interno, que, em relação ao embasamento raso e ao patamar da Anidrita, se caracteriza por um bloco abatido por falha normal em direção ao depocentro da bacia. A tectônica dominante está representada por uma série de falhamentos escalonados ancorados no embasamento em profundidades entre 2.200 a 4.200 m, e apresenta raros falhamentos lítricos, estando bem evidentes os lineamentos transversais provenientes de reativações de estruturas Brasileiras (falha de Porto Seguro e falha de Itaquena). Nesta porção da bacia, desenvolveu-se uma expressiva plataforma carbonática albiana (SANTOS & GONTIJO, 1992).

Nas porções mais distais encontram-se os baixos Sul e Norte, onde a coluna estratigráfica é a mais completa da bacia, chegando a 10.000 m de espessura sedimentar (de acordo com estimativas feitas a partir de seções sísmicas). A área do Baixo Sul é rica em estruturas originadas por halocinese, devido ao basculamento da bacia, originando uma série de domos de sal. Também é reportada a existência de

argilocinese, provocada pela sobrecarga de derrames vulcânicos da Formação Abrolhos sobre pelitos da Formação Urucutuca (SANTOS & GONTIJO, 1992). O lineamento que limita a oeste este baixo com o Degrau Interno atuou como charneira para os sedimentos depositados entre o Aptiano e o Maastrichiano (SANTOS & GONTIJO, 1992).

De grande importância é a ocorrência de uma falha transcorrente que corta a bacia na direção NW–SE, denominada Faixa de Cisalhamento ou falha de Porto Seguro, apresentando largura variando de 5 a 9 km. Esta falha separa o baixo Norte do baixo Sul, sendo bem correlacionada em terra com a faixa de cisalhamento que separa o Cráton do São Francisco do Cinturão de Dobramentos Araçuaí (Idade Brasileira). A expressão sísmica desta falha mostra que, desde o embasamento, sedimentos de idade albo-cenomaniana ou até mesmo do Terciário inferior são afetados. Possui ainda uma configuração de flor positiva, o que denota a ocorrência de possíveis esforços transpressivos durante a evolução da bacia (SANTOS & GONTIJO, 1992). É comum na margem continental leste brasileira a presença de lineamentos com características e direção NW-SE, como, por exemplo, os lineamentos de Cabo Frio e Colatina (DPC & ASSOC., 2000). Alguns dos campos gigantes de petróleo da bacia de Campos podem estar associados a lineamentos desta natureza, o que torna sua presença de grande importância exploratória.

A falha de Itaquena, também observada na porção *offshore*, apresenta praticamente a mesma direção da falha de Porto Seguro e aparece nos mapas gravimétricos como um alinhamento bastante evidente, de acordo com SANTOS & GONTIJO (1992). CUNHA (1985, citado por SANTOS & GONTIJO, 1992) diz ainda

que deslocamentos mapeados através de altos gravimétricos na região marinha podem ser resultado de esforços tangenciais sinistrais que atuaram ao longo desta falha.

A deformação dos sedimentos da fase Rifte, pouco definida sismicamente, é representada por blocos falhados (*horsts* e *grábens*). Já nas fases evaporítica e marinha, a estruturação sofre influência da tectônica gravitacional, associada ao fluxo de sal, causando falhamentos lítricos e *rollovers* associados.

4.3.2 Geologia estratigráfica da bacia de Cumuruxatiba

À semelhança de outras bacias da margem leste brasileira, a evolução tectono-sedimentar da bacia de Cumuruxatiba contempla três fases distintas (Figura 10). A nomenclatura utilizada nas unidades estratigráficas obedece às definições anteriormente feitas por CARVALHO & GARRIDO (1965), citado por SANTOS *et al.* (1994) e ASMUS *et al.* (1971), além da inserção do Grupo Cumuruxatiba por SANTOS & GONTIJO (1992), referente a uma seção clástica eocretácea ainda não constatada nas bacias adjacentes.

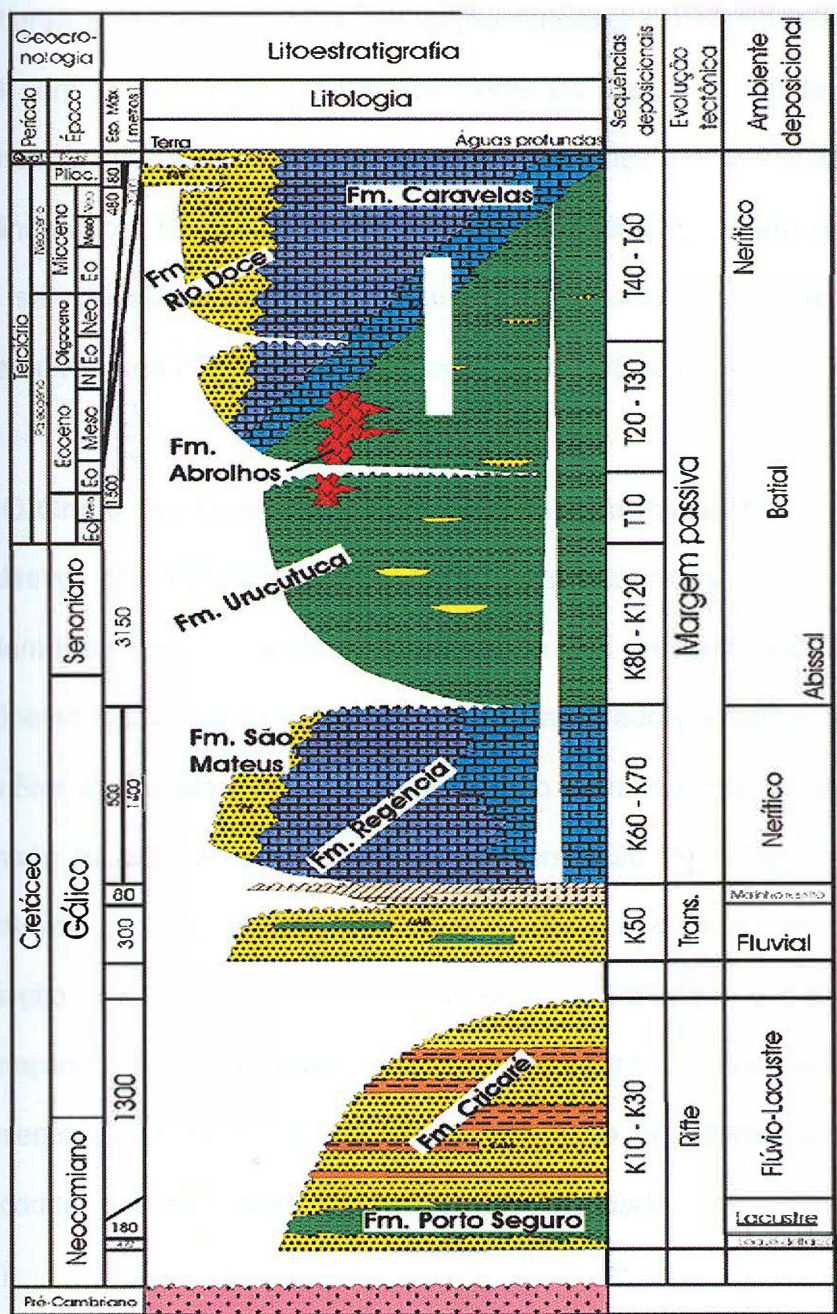


Figura 10: Carta estratigráfica da bacia de Cumuruxatiba. (Fonte: Boletim de Geociências da Petrobras, numero 1, volume 8, 1994).

A fase Rife (neocomiano – eoaptiano) é composta pelo Grupo Cumuruxatiba e parte do Grupo Nativo, onde o primeiro foi proposto para designar rochas

estratigraficamente abaixo da Formação Cricaré, constatadas por SANTOS *et al.* (1994) em quatro poços na parte norte da bacia. A idade atribuída a estes sedimentos foi Rio da Serra, com base em datações bioestratigráficas de ostracodes e palinomorfos. E, por razão da falta de conteúdo fossilífero, esta Formação não pôde ser correlacionada com o Andar Dom João das bacias do Recôncavo e Camamu-Almada (PEREIRA, 1974, *apud* SANTOS *et al.*, 1994).

O Grupo Cumuruxatiba é composto pela Formação Monte Pascoal (ambiente siliciclástico fan-deltaico), constituída essencialmente por arcóseo médio a conglomerático branco e cinza. Intercalados aos arenitos, ocorrem delgados níveis de folhelho cinza-escuro e preto e de conglomerado vermelho, com matriz arenosa muito fina. O contato inferior desta formação é discordante sobre o embasamento e o contato superior é concordante com a Formação Porto Seguro (lacustre), que se caracteriza por um pacote de folhelho cinza escuro a preto. Os contatos da Formação Porto Seguro, tanto superior (Formação Cricaré) quanto inferior (Formação Monte Pascoal), são aparentemente concordantes. Esta unidade representa a deposição de um lago de água doce/salobra e apresenta fósseis de ostracodes, que permitiram conferir a ela uma idade Rio da Serra (SANTOS *et al.*, 1994).

O Grupo Nativo pertencente à fase Rife e inclui a Formação Cricaré (fluvio-lacustre), caracterizada por clásticos grosseiros depositados entre as idades Rio da Serra e Jequiá.

A fase evaporítica (Aptiano) é composta pela Formação Mariricu, que também faz parte do Grupo Nativo. Nesta Formação dois Membros são diferenciados: o Membro Mucuri, formado por clásticos grosseiros e finos flúvio-lacustres de idade Alagoas, e o Membro Itaúnas, caracterizado por evaporitos com idade neoalagoas, representando um ambiente marinho de circulação restrita (SANTOS *et al.*, 1994). O limite superior da seqüência é uma discordância situada no topo da seção evaporítica, evidenciada por *onlap* da plataforma carbonática albiana sobre uma espessa camada de anidrita (GONTIJO, 1996).

A fase Drifte ou de deriva continental (Albiano recente) é composta por dois grupos: Barra Nova e Espírito Santo. O Grupo Barra Nova (Albiano – Cenomaniano), depositado em ambiente nerítico, inclui a Formação São Mateus (siliciclástico marinho), representada por clásticos grosseiros depositados em leques deltaicos, registrando o início da fase transgressiva, e também a Formação Regência, que reúne carbonatos de alta e baixa energia. Esse pacote é recoberto por sedimentos siliciclásticos marinhos (espessos pelitos e arenitos finos), neocretáceos e terciários, depositados em ambiente de água profunda, da Formação Urucutuca, já pertencente ao Grupo Espírito Santo. Além desta formação, o Grupo Espírito Santo compreende duas outras: Formação Rio Doce, apresentando arenitos grosseiros de leques costeiros terciários, e Formação Caravelas, com carbonatos terciários neríticos de alta e baixa energia. Na parte terrestre da bacia, a Formação Barreiras é constituída por cobertura clástica neoceno-zóica. O limite inferior das formações Rio Doce e Caravelas (discordância erosiva) marca a passagem entre a fase marinha transgressiva e a fase marinha regressiva na bacia.

Durante o Paleoceno/Eoceno, a bacia foi palco de intensa atividade tectônica e vulcânica, com uma associação litológica complexa, englobando rochas ígneo-básicas (composição toleítica a alcalina, conforme, MIZUSAKI, 1994). As datações realizadas em amostras destas rochas, utilizando o método K/Ar, compreendem o intervalo entre 37 e 59 Ma, interpretado como o período de maior atividade vulcânica reconhecida na região do Complexo de Abrolhos e áreas adjacentes (MIZUSAKI, 1994). Este vulcanismo alterna períodos de atividade subaquosa com períodos de vulcanismo subaéreo, possuindo maior ou menor intercalação com sedimentos siliciclásticos da Formação Abrolhos. São reportadas reativações de falhas normais e inversas, devido à sobrecarga deste complexo vulcânico.

SZATIMARI & MOHRIAK (1994, citado por CONCEIÇÃO, 1994, citado por GONTIJO, 1996) propõem um modelo cinemático no qual o tectonismo eocênico foi atribuído a esforços compressivos entre a cadeia meso-oceânica e a subducção andina. Segundo esta hipótese, lineamentos do embasamento proterozóico de direção ENE foram reativados, originando feições transtensivas e transpressivas, potencialmente formadoras de bacias sedimentares do tipo Rifte intracontinentais, tais como Resende, Taubaté e São Paulo, e possivelmente causadoras do surgimento das serras do Mar e da Mantiqueira. O caráter transtensivo desta reativação contribuiu para a formação de dutos para o magmatismo de Abrolhos (GONTIJO, 1996).

Foram identificadas na carta estratigráfica da bacia de Cumuruxatiba as cinco megassequências revisadas por HUNG *et al.* (1990b). A sequência sinrifte I não foi

identificada em razão da ausência de conteúdo fossilífero que a caracterizasse como tendo idade Dom João.

A bacia sedimentar de Cumuruxatiba está associada a quatro tipos de plays: Turbiditos da Formação Urucutuca de idade Terciário de águas rasas ou profundas em calhas deposicionais ou flanco de sal; Turbiditos da Formação Urucutuca de idade neocretaceo com batimetria superior a 100 metros, com estruturas associada a halocinese; Reservatório do Grupo Barra Nova (Arenitos da Formação São Mateus e calcarenito da Formação Regência) de idade Albiano-Cenomaniano com estruturas formadas por falhas lístricas associadas à halocinese; arenitos da Formação Cricaré do Rifte em trapas estruturais.

4.3.3. Sistema petrolífero

A Bacia de Cumuruxatiba possui acumulações de óleo e gás provenientes de dois sistemas petrolíferos distintos: Cricaré – Cricaré (!) e Regência – Urucutuca (!) (DPC & ASSOC ,2000).

Sistema Petrolífero Cricaré – Cricaré (!)

O sistema Cricaré – Cricaré (!) inclui os folhelhos de idade Neocomiana da Formação Cricaré como rocha geradora, depositados em ambiente lacustre, e os arenitos fluviolacustres da mesma Formação Cricaré como reservatório (Figura 16).

Uma ocorrência de óleo relacionada a este sistema petrolífero está representada pelo poço 1-BAS-48 (subcomercial). Segundo os estudos realizados até o momento, este sistema petrolífero parece estar restrito à parte norte da bacia (DPC & ASSOC., 2000).

Rocha Geradora e Ocorrências de Hidrocarbonetos

A rocha geradora associada à Formação Cricaré é representada por um pacote espesso, chegando até 500 metros, de folhelhos escuros com alto teor de COT (Carbono Orgânico Total), variando, na maioria das vezes, de 2% a 6%, e com índices de hidrogênio de até 900 mgHC/gCOT. Dados de petrografia orgânica revelaram o domínio de matéria orgânica amorfa, que, juntamente com o índice de hidrogênio, indicam que esta rocha geradora é composta por querogênio Tipo I (GAGLIANONE *et al.*, 1987). Esta rocha geradora somente foi amostrada, com espessura significativa, por poucos poços na parte norte da bacia (e.g., 1- BAS-18A).

GAGLIANONE *et al.* (1987) caracterizaram a acumulação do 1-BAS-48 como um óleo com alto conteúdo de saturados (65%) e grau API 29°. Esta configuração geoquímica mostra uma boa correlação com os extratos orgânicos dos folhelhos lacustrinos da Formação Cricaré. Estes dados, corroborados com parâmetros de maturidade de biomarcadores, mostram um grau de evolução térmica moderado (DPC & ASSOC., 2000).

Rocha Reservatório, Selo e Trapa

Os reservatórios relacionados a esta acumulação são os arenitos fluviais neocomianos da Formação Cricaré. O mecanismo de trapeamento é essencialmente estrutural, associada a falhas normais com blocos escalonados e anticlinais formados por compactação diferencial, e as rochas selantes são os folhelhos lacustrinos pertencentes a esta mesma formação (Figura 11)

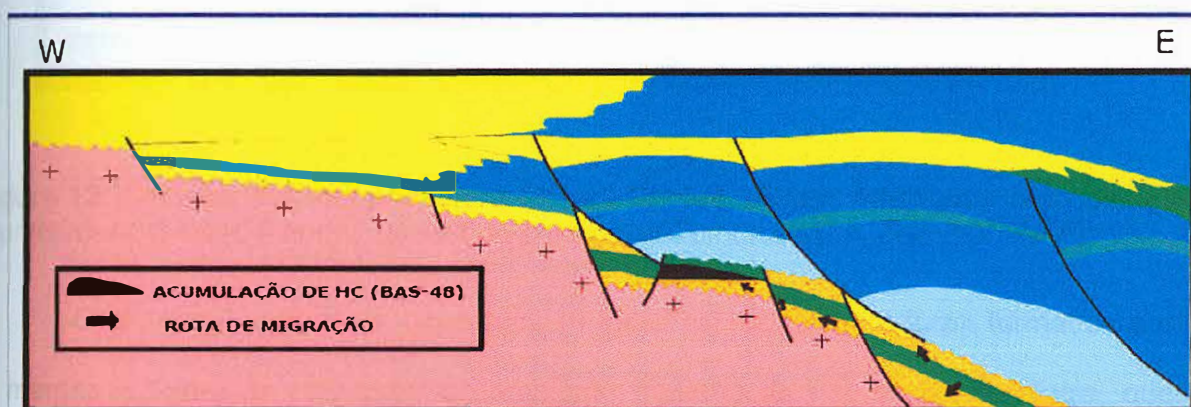


Figura 11: Seção geológica esquemática mostrando a rota de migração do óleo do sistema petrolífero Cricaré-Cricaré. (Fonte: http://www.anp.gov.br/brasil-rounds/round4/round4/workshop/restrito/portugues/Cumuruxatiba_port.PDF .

Geração e Migração

A integração de dados de reflectância de vitrinite provindas de diversos poços (GAGLIANONE *et al.*, 1987) indica que o topo da janela de óleo na Bacia de Cumuruxatiba varia de 1.500 metros, perto da linha de charneira cretácea, até mais de 3000 metros, na parte oceânica distal. Com isto, na parte norte da bacia, as rochas geradoras atingiram o estágio de evolução termal maduro (porção distal da plataforma), enquanto, na parte centro-sul, estas rochas estão bastante soterradas e provavelmente atingiram o estado sobrematuro. A migração deve ter sido facilitada por contatos laterais e através de falhas Rifes (DPC & ASSOC., 2000).

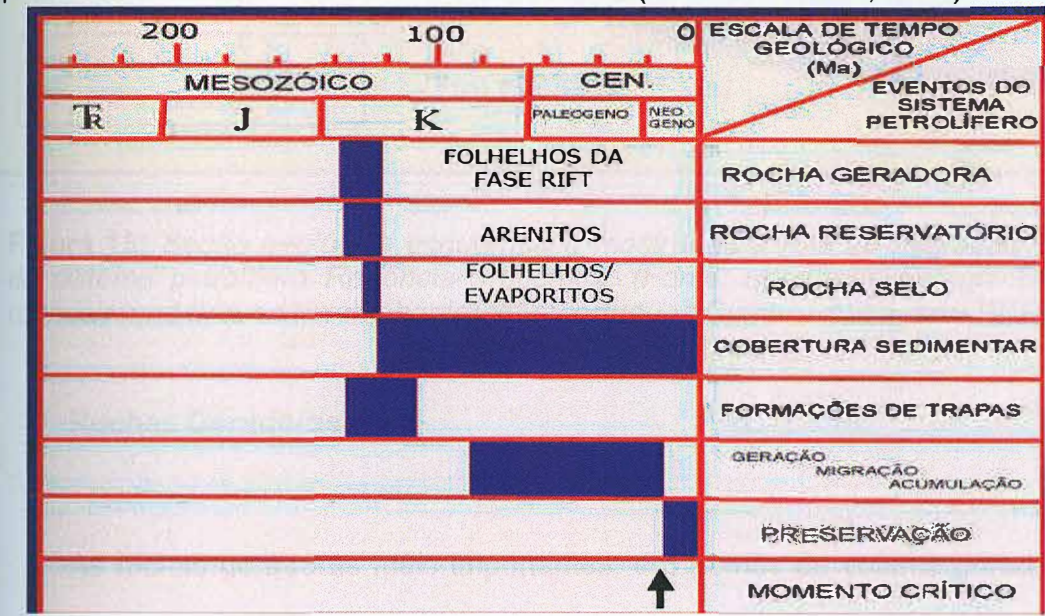


Figura 12: Carta do sistema petrolífero Cricaré-Cricaré. (Fonte: http://www.anp.gov.br/brasil-rounds/round4/round4/workshop/restrito/portugues/Cumuruxatiba_port.PDF ANP).

O sistema Regência – Urucutuca (!) inclui as rochas geradoras formadas por margas e folhelhos calcíferos de ambiente marinho da Formação Regência, que possui idade albiana a cenomaniana, e os reservatórios turbidíticos da Formação Urucutuca, datada do Paleoceno. A ocorrência deste sistema é comprovada pela

acumulação do Campo de Arraia, descoberto pelo poço 1-BAS-11, e pela área do 1-BAS-104 (Figura 13). A ocorrência deste sistema petrolífero está restrita, com os estudos realizados até o momento, à porção sul da bacia (DPC & ASSOC., 2000).

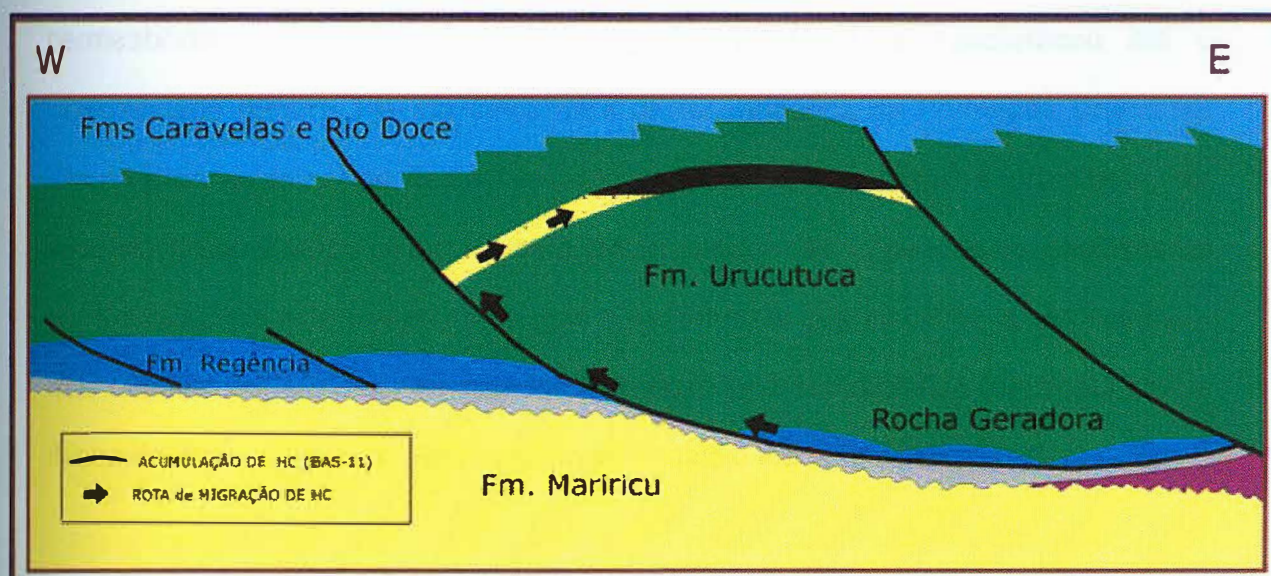


Figura 13: Seção geológica esquemática mostrando a rota de migração do óleo do sistema petrolífero Regência-Urucutuca. (Fonte: http://www.anp.gov.br/brasil-rounds/round4/round4/workshop/restrito/portugues/Cumuruxatiba_port.PDF.)

Rochas Geradoras

As rochas geradoras mais importantes, em termos de volume gerado, são as margas e folhelhos calcíferos de ambiente marinho da Formação Regência, de idade Albiana a Cenomaniana, as quais possuem COT médio ao redor de 1%, com valores máximos em 4%, predominantemente do tipo II.

Rocha Reservatório, Selo e Trapa

Os principais reservatórios deste sistema petrolífero são os turbiditos da Formação Urucutuca (fase Drifte) com porosidade variando de 20 a 25 % e permeabilidade de 10 a 200 mD, depositados desde o neocretáceo até o mesoterciário (Figura 14). Os selos para os reservatórios da Formação Urucutuca são os próprios folhelhos desta formação intercalados aos arenitos turbidíticos. Na acumulação do Campo de Arraia, os hidrocarbonetos são trapeados essencialmente por mecanismos estruturais (halocinese e fechamento associado às falhas lítricas), mas também podem estar associados ao mecanismo estratigráfico (*pinch out* contra flanco de domo de sal e preenchimento de canais e lobos turbidíticos).

Além destes, os arenitos das formações Mariricu e Cricaré (Aptiano) são também considerados objetivos exploratórios. Constituem reservatórios secundários os arenitos da Formação São Mateus e os calcarenitos da Formação Regência (Grupo Barra Nova – Albiano). Na Formação Cricaré, os reservatórios arenosos são selados pelos folhehos da mesma formação.

A geração e a migração deste sistema petrolífero são análogas ao sistema Cricaré – Cricaré (!).

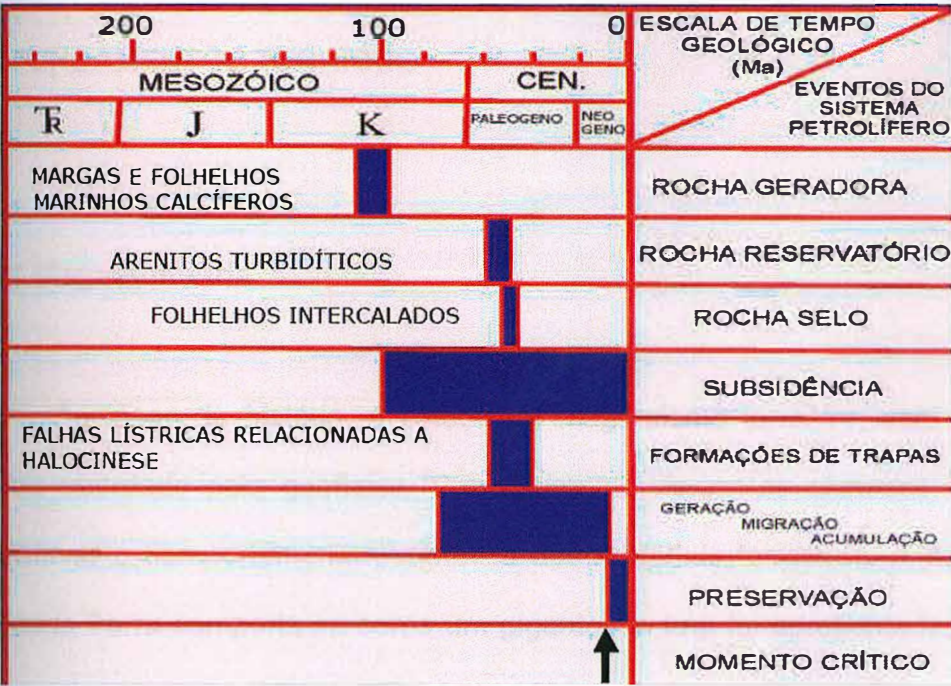


Figura 14: Carta do sistema petrolífero Regência-Urucutuca. (Fonte: http://www.anp.gov.br/brasil-rounds/round4/round4/workshop/restrito/portugues/Cumuruxatiba_port.PDF)

5 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

5.1 Magnetometria

Ao longo da história, o estudo do magnetismo terrestre, vem sendo o tema mais abordado pela geofísica. Provavelmente, foram os chineses os primeiros a observar o comportamento magnético dos materiais terrestres. A noção de que a própria Terra comporta-se como um gigantesco ímã foi apresentada, segundo uma base científica, por William Gilbert em 1600.

A utilização de medidas magnéticas na exploração geofísica baseia-se no fato de concentrações de minerais magnéticos nas rochas da crosta produzirem distorções locais nos elementos do campo magnético da Terra. Esses elementos são sua intensidade, a declinação e a inclinação magnética.

Segundo registros antigos, o método magnético foi um dos primeiros métodos geofísicos a ser empregado em prospecção geológica. Esses registros atestam que as primeiras medições sistemáticas datam de 1640, realizadas na Suécia, onde a observação da declinação magnética foi utilizada para a exploração de depósitos de ferro.

As primeiras observações da declinação magnética foram feitas usando bússolas náuticas.

Posteriormente, em 1870, foram construídos instrumentos capazes de medir variações das componentes horizontal e vertical do campo magnético e sua inclinações. Atualmente, os magnetômetros medem, com muita precisão os componentes do campo e sua intensidade.

A maioria dessas medidas são normalmente realizadas na superfície do terreno, em galerias, em poços, por aeronaves, embarcações e satélites.

Os principais minerais responsáveis por anomalias magnéticas nos materiais geológicos, são a magnetita, a pirrotita, e a ilmenita. Por associação pode-se obter informações sobre a distribuição de minerais não magnéticos que são economicamente importantes, tais como: calcopirita, galena, asbesto, etc. No entanto, vale ressaltar que, além de auxiliar na localização de depósitos minerais, as medidas magnéticas podem ser usadas também na identificação de contatos geológicos e de estruturas geológicas (falha, dobras), que podem, inclusive, servir de controle sobre reservatórios de petróleo ou água subterrânea e gás (Santos, 2000).

No âmbito das aplicações dos levantamentos magnéticos em estudos de água subterrânea, existem duas que se destacam, quais sejam: (a) estudo de aquíferos de rochas magnéticas, principalmente basaltos; e (b) determinação da configuração do embasamento cristalino que é subjacente às rochas sedimentares ou não.

Os aquíferos mais comuns estão localizados em rochas sedimentares, sendo que, a maioria delas, são essencialmente não magnéticas. As rochas ígneas e metamórficas geralmente possuem uma grande quantidade de minerais magnéticos (magnetita e pirrotita, por exemplo) gerando portanto, anomalias magnéticas locais (Pitombo, 1998).

5.1.1 Fundamentos

O método magnético tem uma relação íntima com o método gravitacional. Ambos buscam anomalias causadas por variações nas propriedades físicas de rochas da subsuperfície e são usados para reconhecimento. A principal diferença entre eles é que, a propriedade de uma rocha que determina os efeitos magnéticos, a magnetização, tem direção e magnitude, enquanto que a propriedade correspondente a atração gravitacional, a massa, só tem magnitude (Dobrin, 1960).

Resultados de experimentos demonstram que são gerados campos magnéticos sempre que correntes elétricas fluem através de um condutor (um cabo elétrico, por exemplo).

Esta parece ser a única fonte de campos magnéticos, já que pólos magnéticos isolados não são observados na natureza. Nesse caso, pode-se definir uma grandeza magnética m (chamada momento de dipolo magnético) para uma corrente de intensidade I circulando numa espira de área como

$$\vec{m} = \frac{Ia}{c} \hat{n} \quad (5.1)$$

onde, c é a velocidade da luz e \hat{n} um vetor unitário normal à área delimitada pela espira que indica a orientação do dipolo em relação ao circuito elétrico (Figura 15).

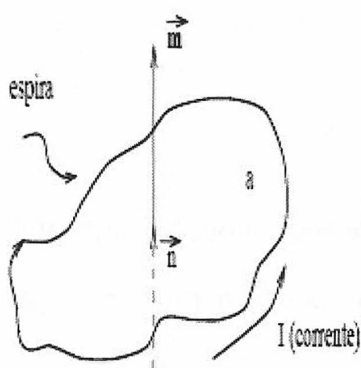


Figura 15: Momento do dipolo magnético

Para facilitar o desenvolvimento da teoria magnética, deve-se, a princípio, admitir a existência de pólos magnéticos isolados. Dessa forma, pode-se definir a força magnética através da Lei de Coulomb que estabelece que a força entre dois pólos magnéticos de intensidade p_1 e p_2 separados por uma distância r é dada por:

$$\vec{F}_m = \frac{1}{\mu} \frac{p_1 p_2}{r^2} \quad (5.3)$$

onde μ é a permeabilidade magnética do meio homogêneo e isotrópico que inclui os pólos.

O campo magnético \vec{H} no pólo p_2 , produzido por p_1 , é

$$H = \frac{F_m}{p_2} = \frac{1}{\mu} \frac{p_1}{r^2} \quad (5.4)$$

Quando um material é submetido a um campo externo \vec{H} , ele adquire magnetização \vec{M} , proporcional ao campo, dada por:

$$\vec{M} = \kappa \vec{H} \quad (5.5)$$

onde κ é a susceptibilidade magnética.

A magnetização de um material por um campo externo se dá através do alinhamento de seus momentos dipolos internos provocando o aparecimento de um campo adicional (\vec{H}'), que somado ao campo \vec{H} , produz um campo conhecido por indução magnética ou densidade de fluxo magnético \vec{B} . O campo adicional (\vec{H}') está relacionado com a magnetização (\vec{M}).

Então, escreve-se (Telford et al., 1990):

$$\vec{B} = \vec{H} + \vec{H}' \quad (5.6)$$

onde,

$$\vec{H}' = 4\pi\vec{M} \quad (5.7)$$

Combinando-se as eqs (5.5), (5.6) e (5.7) obtém-se

$$\vec{B} = (1 + 4\pi\kappa)\vec{H} \quad (5.8)$$

Por definição, a razão entre \vec{B} e \vec{H} é a permeabilidade magnética μ . Assim pode-se reescrever a equação (5.8) como

$$\vec{B} = (1 + 4\pi\kappa)\vec{H} = \mu\vec{H} \quad (5.9)$$

No sistema internacional (SI), as unidades de \vec{B} e \vec{H} são respectivamente Ampère por metro (A/m) e Tesla (T), enquanto que a permeabilidade magnética do vácuo $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ Henry/m.

Semelhantemente ao campo gravitacional, o campo magnético é também um campo conservativo, e por isso pode ser derivado de um potencial escalar U , através da relação

$$\vec{H} = -\nabla U \quad (5.10)$$

onde

$$U(r) = \int_v \frac{\vec{M}(\vec{r}_0)}{|\vec{r} - \vec{r}_0|} dv \quad (5.11)$$

Onde, $M(\vec{r}_0)$ é a magnetização num dado ponto definido pelo vetor \vec{r}_0 .

Para um meio material, pode-se definir

$$\vec{M} = \vec{M}_i + \vec{M}_r \quad (5.12)$$

sendo \vec{M}_i a magnetização induzida e \vec{M}_r a magnetização remanente.

A magnetização induzida é produzida pelo campo atual da Terra e é proporcional a esse campo. A magnetização remanente é adquirida ao longo da história geológica, e de acordo com os processos de formação da rocha.

A magnetização remanente pode ser produzida por vários processos tais como (Telford et al., 1990; Sharma, 1986; Grant e West, 1965; Parasnis, 1997):

- Magnetização Termorremanente (TRM): Adquirida quando o resfriamento do material na presença de um campo, atinge temperatura abaixo da temperatura de Curie. A maioria da TRM é adquirida abaixo da temperatura de Curie.

- Magnetização Remanente Isotérmica (IRM): é a magnetização residual que resulta no material após o campo externo ser removido. Esta magnetização é desprezível quando o campo aplicado é fraco, como é o caso do campo magnético da Terra na superfície da mesma, pois é gerado no Núcleo Externo a aproximadamente 3000 km de profundidade.

• Magnetização Remanente Química (QRM): é um processo de magnetização similar à TRM. Ocorre quando grãos magnéticos crescem por precipitação ou são transformados de uma forma para outra, a uma temperatura inferior ao ponto de Curie. Este provavelmente é o mecanismo mais comum de magnetização permanente nas rochas metamórficas e sedimentares.

• Magnetização Remanente Depositional (DRM): Ocorre durante a sedimentação de grãos finos, e partículas quase colóidais. A magnetita é bem preservada durante o intemperismo e deve ser, entre os sedimentos, o que mais lentamente sai do estado de suspensão.

• Magnetização Piezorremanente (PRM): Magnetização remanente adquirida pela aplicação de uma pressão mecânica em um campo ambiente à temperatura constante.

• Magnetização Remanente Viscosa (VRM): Efeito acumulativo da IRM após uma longa exposição em um campo ambiente, não necessariamente a uma temperatura constante.

O aumento da remanência é geralmente uma função logarítmica do tempo, conhecida como magnetização viscosa.

5.1.2 Propriedades Magnéticas dos Materiais Geológicos

Juntamente com a magnetização induzida ou remanente e o momento do dipolo magnético, a susceptibilidade magnética é, também, um dos parâmetros fundamentais no método magnético, utilizada para avaliar as características dos

materiais geológicos, com base na quantidade de minerais ferromagnéticos presentes, tamanho do grão, modo de distribuição, etc.

Os valores de susceptibilidade magnética podem ser constantes para determinados tipos de materiais, mas podem depender da intensidade do campo. Em alguns materiais, a susceptibilidade é positiva e em outros, negativa; o sinal positivo ou negativo indica o sentido da intensidade de magnetização em relação ao campo aplicado.

Conforme a classificação geral utilizada na física moderna, todas as substâncias (incluindo rochas e solos) enquadram-se em três categorias: diamagnéticas, paramagnéticas e ferromagnéticas. A última categoria é subdividida em substâncias verdadeiramente ferromagnéticas, antiferromagnéticas e ferrimagnéticas (Parasnis, 1997).

Diamagnetismo - O diamagnetismo está associado aos momentos magnéticos orbitais dos elétrons nos átomos ou moléculas que constituem a substância em questão. Por isso, está presente em todas as substâncias embora, na maioria, com uma intensidade tão pequena que sua presença é mascarada por outros comportamentos.

Paramagnetismo - Em alguns materiais os momentos magnéticos tendem a se alinhar com a direção do campo indutor, embora a magnetização ainda seja fraca.

Exemplos:

silicatos, olivinas, piroxênios, anfibólios.

Ferromagnetismo - Substâncias magnéticas com susceptibilidade magnética muito elevada e positiva, que adquirem magnetização com intensidade muito forte, no mesmo sentido do campo.

5.1.3 Campo Magnético da Terra

Em boa aproximação, o campo geomagnético pode ser representado como o campo de um dipolo magnético, situado quase no centro da Terra, com pólos localizados em (78° 30'N, 69°W) e (78°30'S, 111°E), e eixo inclinado de 11°30' em relação ao eixo N-S geográfico. Os pólos magnéticos verdadeiros (posições onde uma agulha magnetizada inclina-se de 90°) localizam-se nas coordenadas (75°N, 101°W) e (67°S, 143°E).

O campo geomagnético em qualquer ponto de observação da superfície terrestre pode ser representado pelas componentes horizontal (\vec{H}_h) e vertical (\vec{H}_z), pelo ângulo de inclinação com a horizontal (i) e pelo ângulo de declinação(D) formado entre (\vec{H}_h) e a direção do norte geográfico. A componente horizontal pode ser decomposta em duas outras: a componente \vec{H}_x (componente norte), na direção do norte geográfico, e a componente \vec{H}_y na direção perpendicular. O campo magnético \vec{H}_o , e as componentes \vec{H}_h e \vec{H}_z , bem como a inclinação (i) estão todos num mesmo plano vertical.

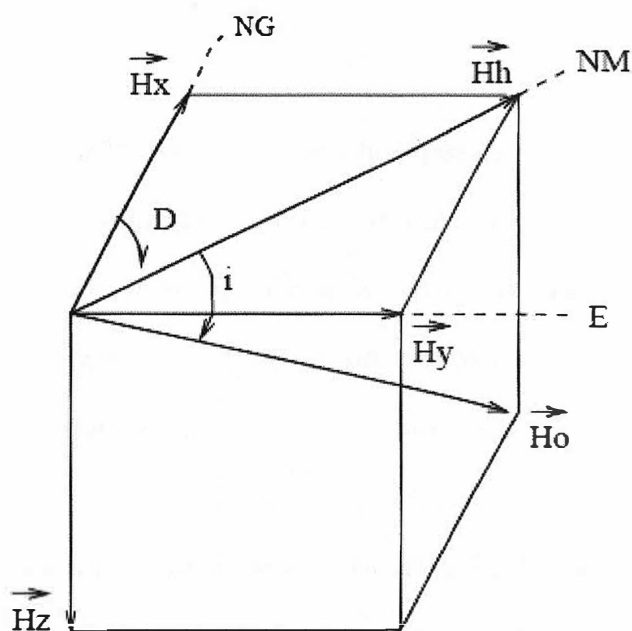


Figura 16: Elementos do campo geomagnético

Conforme a Figura 16, pode-se escrever as seguintes relações entre as componentes:

$$H_x = H_h \cos(D) = H_o \cos(i) \cos(D) \quad (5.13)$$

$$H_y = H_h \sin(D) = H_o \cos(i) \sin(D) \quad (5.14)$$

$$D = \arctg\left(\frac{H_y}{H_x}\right) \quad (5.15)$$

$$i = \arctg\left(\frac{H_z}{H_h}\right) \quad (5.16)$$

5.1.4 Correções de dados magnéticos

A maioria dos dados geofísicos, antes que possam ser interpretados precisam ser submetidos a um tratamento visando eliminar efeitos geológicos indesejáveis, como os produzidos por heterogeneidades próximas da superfície, e também eliminar as variações devidas a causas não geológicas, como por exemplo, a variação diurna. Esse tratamento consiste em correções, filtragens, etc.

5.1.4.1 -Remoção do IGRF

O IGRF (International Geomagnetic Reference Field) é a representação teórica, para um dado intervalo de tempo, do campo magnético normal da Terra ou campo principal, isto é, do campo que se origina no interior da Terra, com exceção dos campos causados por materiais magnéticos da crosta e correntes elétricas induzidas por campos magnéticos externos à Terra. Essa representação teórica é usada como referência para definir perturbações causadas no campo normal pelas estruturas geológicas e depósitos de minérios, isto é, serve como referência para determinação das anomalias magnéticas da prospecção.

5.1.4.2 -Correção da variação diurna

A variação diurna é causada por campos magnéticos externos, que produzem flutuações magnéticas, com períodos de 24 horas, isto é, flutuações estas causadas pelo movimento da ionosfera.

Dois procedimentos são utilizados na correção da variação diurna:

- 1) Quando há disponibilidade de dois magnetômetros, um deles registra o campo magnético continuamente, em uma estação fixa (estação base), enquanto o outro é utilizado para medir o campo nas diversas estações. A correção do valor

medido em uma determinada estação é feita somando-se ou subtraindo-se, a variação observada no magnetômetro fixo no momento da medida, e;

2) Quando só há disponibilidade de um único magnetômetro, uma estação do levantamento é reocupada periodicamente (intervalos de 2 a 3 horas) e a variação nas medidas obtidas nessa estação é distribuída linearmente com o tempo, à semelhança do que é feito para corrigir-se o drift do instrumento em gravimetria.

5.1.5 Magnetômetros

5.1.5.1 Generalidades

Um magnetômetro é um instrumento que mede a magnitude de um campo magnético. Magnetômetros são usados para medir variações no campo magnético da Terra para localizar depósitos minerais, sítios arqueológicos ou objetos submersos como submarinos ou naufrágios.

Um **tesla (T)** é a indução magnética uniforme que, distribuída normalmente sobre uma superfície de área 1 metro quadrado, produz através desta superfície um fluxo magnético total de 1 weber. O uso corrente consagrou a utilização do nanotesla 10^{-9} T.

A sensibilidade normalmente requerida em instrumentos de detecção de dados magnéticos em solo está entre 1 e 10 nT em um campo total raramente maior que 50.000 nT. Aplicações aéreas, entretanto levaram ao desenvolvimento de magnetômetros com sensibilidade de 0.001 nT (TELFORD *et al*, 1990).

5.1.5.2 O magnetômetro de precessão de prótons

O magnetômetro de precessão de prótons opera segundo o princípio que prótons em todos os átomos estão girando em um eixo alinhado com o campo magnético. Ordinariamente, prótons tendem a alinhar-se com o campo magnético da Terra. Quando submetidos a campos magnéticos artificialmente induzidos, os prótons vão se alinhar com este novo campo. Quando este novo campo é interrompido, os prótons retornam a seu alinhamento original com o campo magnético da Terra. Enquanto mudam seu alinhamento os prótons precessam assim como os peões quando a sua velocidade diminui. A frequência na quais os prótons precessam é diretamente proporcional à magnitude do campo magnético da Terra. Esta é a razão giromagnética do próton igual a 0.042576 Hz/nT. Por exemplo, em uma área cuja magnitude do campo é 57.78 nT a frequência de precessão é aproximadamente 2460 Hz.

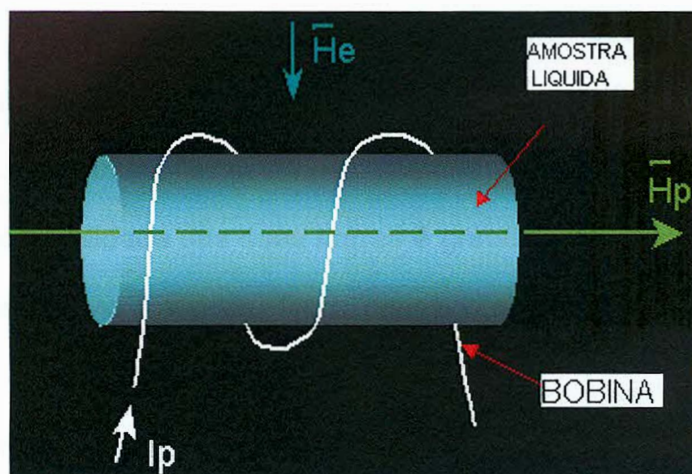


Figura 17: Esquema de montagem do magnetômetro de precessão de prótons, onde H_e é o campo magnético da Terra. E H_p é o campo magnético perpendicular gerado pela passagem da corrente I_p (Adaptado de <http://www.gemsys.ca/PDFDocs/Proton%20Precession%20Magnetometer.pdf>)

Em um magnetômetro de precessão de prótons (Figura 17), uma garrafa de fluido rico em átomos de hidrogênio, geralmente água destilada ou um hidrocarboneto como querosene ou mesmo álcool, é rodeada por uma bobina de fio a qual pode ser energizada por uma corrente contínua para produzir um forte campo magnético. Quando a corrente é desligada a precessão dos prótons induzem um sinal bastante fraco na mesma bobina a qual é conectada a um dispositivo de saída sensível. Este dispositivo pode ser um contador de frequência calibrado para dar uma leitura direta da magnitude do campo magnético.

5.1.5.3 Magnetômetro "Fluxgate"

O magnetômetro "fluxgate" foi originalmente desenhado e desenvolvido durante a segunda guerra mundial. Foi construído para uso em aeronaves de voo baixo para detectar submarinos. Hoje em dia é usado para fazer medidas de poço.

O magnetômetro "fluxgate" é baseado no circuito de saturação magnética (Figura 18). Duas barras paralelas de material ferromagnético são colocadas próximas. A susceptibilidade das duas barras é grande o bastante para que o campo magnético relativamente fraco da Terra possa produzir saturação magnética nas barras.

Cada barra é rodeada por uma bobina primária, mas a direção na qual a bobina é amarrada ao redor da barra é distinta em cada bobina. Uma corrente alternada passa através da bobina primária causando um forte campo magnético artificial e variável em cada bobina. Isso produz campo magnético induzido nos dois núcleos

que tem as mesmas magnitudes, mas orientações opostas, em qualquer tempo durante o ciclo da corrente.

Se os núcleos estão em um campo magnético externo, um componente do campo externo vai ser paralelo ao eixo do núcleo. Enquanto a corrente na bobina primária aumenta, o campo magnético em um núcleo vai ser paralelo ao campo externo e então será reforçado por ele. A outra vai estar em oposição ao campo externo e, portanto será menor. O campo atingirá a saturação em um núcleo em um tempo diferente do outro núcleo, e cairá abaixo da saturação, enquanto a corrente diminui, em um tempo diferente. Essa diferença é suficiente para induzir uma voltagem mensurável em uma bobina secundária que é proporcional à magnitude do campo magnético na direção dos núcleos ferromagnéticos.

A bobina secundária circunda os dois núcleos ferromagnéticos e as bobinas primárias. Os campos magnéticos induzidos nos núcleos pelas bobinas primárias deve ser zero porque o campo magnético nos dois núcleos pode ter a mesma magnitude, mas estão em direções opostas e, portanto, seus efeitos nas bobinas secundárias cancelam-se. Na presença de uma componente do campo externo, o comportamento dos dois núcleos diferem por um valor que depende do campo externo.

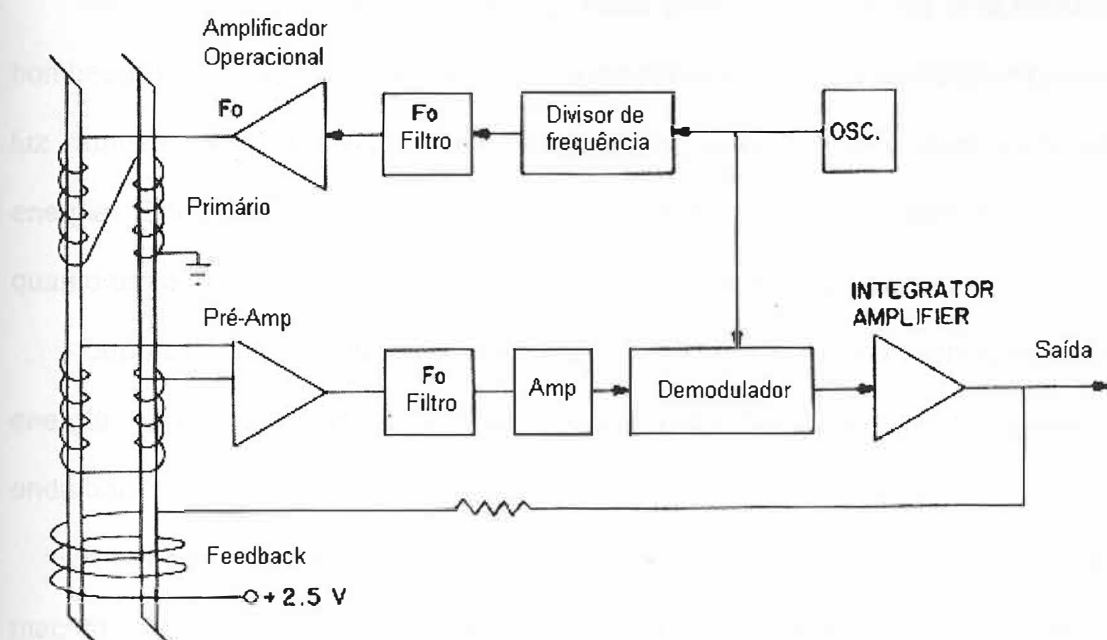


Figura 18: Esquema ilustrativo do funcionamento do magnetômetro "fluxgate"
 (Adaptado de <http://www-ssc.igpp.ucla.edu/personnel/russell/ESS265/History.html>)

Desse modo, o magnetômetro "fluxgate" é capaz de medir a magnitude de qualquer componente do campo magnético da Terra simplesmente reorientando o instrumento de forma que os eixos dos núcleos estejam paralelos ao componente desejado e são capazes de medir magnitudes de 0.5 a 1.0 nT e não apresentam "drift" com o tempo, como os gravímetros.

5.1.5.4 Magnetômetros de bombeamento óptico ("Optically pumped magnetometers")

Usa metais alcalinos da primeira coluna da tabela periódica como o Césio e o Potássio, e todos eles operam com o mesmo princípio.

Inicialmente uma célula contendo metal gasoso (Figura 19) é polarizada (ou bombeada) pela exposição à luz de um comprimento de onda bastante específico. A luz remove elétrons de um nível, forçando-os a ocupar um nível mais alto de energia. Estes elétrons decaem espontaneamente, povoando tanto o nível original quanto um mais baixo que fica, eventualmente, totalmente preenchido.

Depois a célula é despolarizada trazendo os elétrons do mais baixo nível de energia para a sua posição original usando radio frequência de comprimento de onda baixo.

A energia necessária para repovoar este nível de energia varia com o campo magnético ambiental, de acordo com o efeito Zeeman, que é o desdobramento das linhas centrais espectrais de átomos na presença de um campo magnético externo. Desse modo, a frequência de despolarização da radio frequência está relacionada com o valor do campo magnético. O efeito Zeeman não é a única diferença de energia em um metal alcalino. Todos os metais alcalinos possuem vários níveis de energia do efeito Zeeman diferentes, cada qual é proporcional ao campo magnético. Estes níveis de energia discretos são chamados de linhas espectrais.

Devido à física do sistema, a intensidade do efeito Zeeman é dependente da direção do campo magnético ambiental com respeito à direção da luz aplicada e da rádio frequência. Isto cria zonas cegas ao redor do sensor do magnetômetro, as quais se manifestam com uma perda de sinal quando o sensor é impropriamente orientado no campo ambiental. A tolerância a esta orientação, entretanto, é alta, usualmente entre 10 e 80 graus da orientação do sensor.

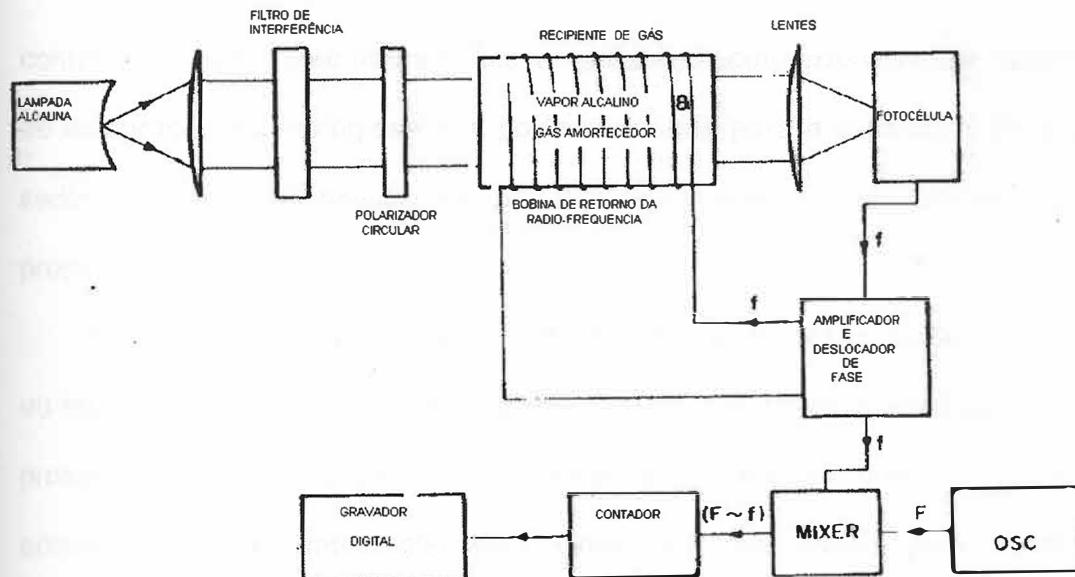


Figura 19: Esquema ilustrativo do magnetômetro de bombeamento óptico

Finalmente, esses magnetômetros requerem que os metais alcalinos devem ser gasosos para operar. Isso significa que a célula que contém o metal deve estar continuamente aquecida a aproximadamente a 45° C.

5.2 Processamento e interpretação

5.2.1 Processamento

Os resultados de levantamentos magnéticos são amostrados como um conjunto de perfis ou um mapa de contorno magnético. Em áreas sedimentares pode haver alguma similaridade entre os dados gravimétricos e magnetométricos, mas em geral as anomalias magnéticas são mais numerosas, mais erráticas, menos persistentes e de maior magnitude que os dados gravimétricos. Conseqüentemente a separação regional residual é muito mais complexa. Um sucesso considerável foi alcançado com aplicação de filtros passa-banda e não lineares. A técnica da

continuação para baixo não é aplicável em áreas complexas e rasas, características de exploração mineralógicas. Ela pode ser usada para a estimativa da largura dos sedimentos em prospecção de petróleo, mas não é muito utilizada para este propósito.

Por outro lado, profundidades são determinadas por métodos semi empíricos ou técnicas tipo deconvolução de Wenner. A análise da derivada segunda é útil em prospecção mineral para realçar estruturas pequenas próximas à superfície, enquanto que a continuação para cima pode ser usada para suprimi-las. A continuação para cima pode ser usada também para diminuir efeitos topográficos em trabalhos magnéticos terrestres.

A comparação de medidas de campo com os resultados esperados para modelos simples permite determinar a localização, profundidade, forma, tamanho e possivelmente, a susceptibilidade de corpos magnéticos.

Embora simplificados tanto geometricamente quanto com respeito à magnetização, as curvas padrão dos modelos simples permitem uma análise razoavelmente rápida e podem ser suficientes, especialmente onde o dado é pobre ou incompleto.

Normalmente, a inversão de dados magnéticos é mais complexa que a gravimétrica, pois envolve mais variáveis.

5.2.2 Interpretação e aspectos estruturais

Devido ao caráter irregular dos mapas magnéticos, a interpretação é muitas vezes apenas qualitativa. Certamente, a interpretação é uma arte refinada. Um

interprete com experiência em magnetometria pode usualmente ver estruturas apenas olhando para um mapa magnético, assim como alguém pode ver estruturas superficiais a partir de um mapa topográfico. Frequentemente estruturas magnéticas são mais diretamente relacionadas a afloramentos superficiais e um mapa magnético pode ser um substituto razoável para um mapa geológico da superfície onde as estruturas superficiais estão obscurecidas pela aluvião. Frequentemente existe uma conexão entre magnetismo e topografia, assim como com estruturas geológicas enterradas, particularmente em áreas de exploração mineral. Um estudo visual dos mapas magnéticos pode ser proveitoso para interpretação preliminar. Neste particular, a experiência é essencial. Magnetizações remanentes, entretanto, podem produzir efeitos significativos levando a erros se sobrevalorizados.

Em regiões sedimentares, particularmente onde a profundidade do embasamento excede 1.500 m, os contornos magnéticos são normalmente suaves e as variações são pequenas, refletindo as rochas do embasamento ao invés das rochas da superfície. As maiores anomalias usualmente são causadas por variação de susceptibilidade mais do que pelo relevo do embasamento. Consequentemente, a magnitude da anomalia não é tão importante para encontrar a profundidade do embasamento e o cálculo desta profundidade é normalmente baseado em medidas da forma da anomalia, especialmente, na sua largura.

Regiões onde rochas ígneas e metamórficas predominam, normalmente exibem diversas variações magnéticas. Estruturas profundas são freqüentemente camufladas por efeitos magnéticos de alta frequência, originados mais próximos à superfície.

5.3 Aquisição

A aquisição de dados magnéticos é geralmente realizada na terra, ar e mar. Para áreas de extensão apreciável, os levantamentos são normalmente feitos através de aeromagnetismo.

Na exploração de óleo, a aquisição aeromagnética (juntamente com a gravimetria de superfície) é feita preliminarmente à sísmica para estabelecer aproximadamente a profundidade, topografia e características das rochas do embasamento. Desde que as suscetibilidades das rochas sedimentares são relativamente pequenas, a resposta principal é devida às rochas ígneas abaixo destas (ou algumas vezes dentre estas).

Nos últimos anos tornou-se possível extrair de dados aeromagnéticos anomalias fracas originárias de rochas sedimentares, como resultado de falhamentos em arenitos, por exemplo. Isto resultou do aumento da sensibilidade dos magnetômetros, da maior precisão na determinação da localização com o radar Doppler, da correção diurna e de outras variações temporais que ocorrem no campo, e de técnicas de análise computacional para a remoção de efeitos de ruídos.

O reconhecimento aéreo para minerais frequentemente combina a magnetometria com a exploração eletromagnética aérea (TELFORD *et al*, 1990). Na maioria dos casos, o próximo passo é fazer detalhados levantamentos magnéticos terrestres. O método é usualmente indireto, isto é, o interesse principal está no mapeamento geológico ao invés da concentração mineral *per se*. Frequentemente a associação de anomalias magnéticas características com metais tem sido usada como um marcador na exploração mineral.

5.3.1 Levantamentos magnéticos aéreos

A sensibilidade dos magnetômetros usados em levantamentos aéreos é geralmente maior que os usados para exploração terrestre – estando em torno de 0.01 nT comparado com 10 ou 20 nT. Devido ao alto custo inicial da aeronave e da disponibilidade de espaço, é prático usar equipamentos mais sofisticados que os instrumentos portáteis. Sua maior sensibilidade é útil na determinação de medidas a centenas de metros abaixo da superfície, ainda que a mesma sensibilidade seja desnecessária em levantamentos terrestres.

Levantamentos aéreos quase sempre consistem de linhas paralelas espaçadas por distâncias que variam de 100 m a alguns quilômetros mantendo-se se a mesma altura. São usadas fotografias aéreas para a localização da aeronave.

As correções aplicadas aos dados magnéticos são o desvio do instrumento (drift), a elevação, as diferenças na localização das linhas. O drift instrumental não é geralmente um problema especialmente com o magnetômetro de próton ou de bombeamento óptico cujas medidas são valores absolutos.

O valor do campo magnético principal da Terra é geralmente subtraído dos valores medidos através do modelo IGRF.

Um magnetômetro estacionário na base serve para determinar variações diurnas lentas enquanto arranjos horizontais ajudam a eliminar as rápidas. As tempestades magnéticas por serem imprevisíveis não são corrigidas.

O levantamento aeromagnético é extremamente atrativo para reconhecimento regional devido ao seu baixo custo por quilômetro e alta velocidade. A velocidade não só reduz o custo, mas também diminui os efeitos das variações temporais do campo magnético. Estruturas erráticas próximas à superfície, freqüentemente um

incômodo em levantamentos terrestres, são consideravelmente reduzidas. A elevação de vôo pode ser escolhida para favorecer estruturas de determinados tamanhos e profundidade. Problemas operacionais associados com irregularidades de terreno, algumas vezes uma fonte de dificuldades nos levantamentos terrestres são minimizados. O dado é mais suave, o que facilita a interpretação regional. Finalmente, o aeromagnetismo pode ser usado sobre a água e em regiões inacessíveis em levantamentos terrestres.

5.3.2 Levantamentos magnéticos aquáticos

Tanto o magnetômetro fluxgate como o de precessão de prótons são usados em operações marinhas. Não existe problema maior na instalação no navio. O elemento sensor é colocado a alguma distância do navio que vai a 15 m de profundidade abaixo da superfície do mar. O uso de um navio ao invés de uma aeronave não traz nenhuma vantagem e aumenta consideravelmente o custo a não ser que o levantamento esteja sendo feito em conjunção com outros levantamentos como gravimétricos ou sísmicos. A maior aplicação tem sido feita em levantamentos oceanográficos de larga escala ligados a física da Terra ou exploração de petróleo. Muito da evidência da tectônica de placas veio de levantamentos magnéticos marinhos.

5.3.3 Levantamentos magnéticos terrestres

Levantamentos magnéticos terrestres atuais praticamente só usam magnetômetros portáteis de precessão de prótons. A maior aplicação está em

detalhar levantamentos para minerais. Os espaços entre as estações normalmente variam entre 15 e 60 m. A maioria dos levantamentos terrestres mede o campo total sendo que alguns ainda medem a componente vertical (fluxgate).

Em trabalhos precisos tanto leituras repetidas devem ser feitas em poucas horas em uma estação já ocupada ou um magnetômetro estacionado que grava dos dados deve ser empregado. Isso possibilita corrigir as variações diurnas e erráticas com campo magnético. Entretanto, tais precauções são desnecessárias na maioria dos levantamentos de prospecção mineral porque as anomalias são grandes (maiores que 500 nT) .

Afora os efeitos diurnos, as reduções requeridas para o dado magnético são insignificantes. A variação do gradiente vertical vai de aproximadamente 0.03 nT/m nos pólos a 0.01 nT/m no equador magnético. A variação com a latitude é raramente maior que 6 nT/km. Portanto correções de latitude e longitude são geralmente desnecessárias.

A influência da topografia em levantamentos magnéticos terrestres, por outro lado, pode ser muito importante.

6 ESTUDO DE CASO

6.1 Introdução

O estudo de caso que ora passo a analisar é de autoria de Glauco Bragança Dias da Silva, geofísico pleno da Petrobras, foi realizada no Observatório Nacional sob a orientação de Luis Fernando Santana Braga em 2005 e tem como título “A superfície Curie na região Bahia Sul – Análise espectral sobre dados aeromagnéticos de alta resolução”.

A região do estudo está situada no litoral sul do estado da Bahia, compreendendo uma faixa entre as cidades de Salvador e Caravelas, abrangendo as bacias de Camamu, Almada, Jequitinhonha e Cumuruxatiba. A proposta deste trabalho é calcular a profundidade da superfície Curie através da análise espectral sobre dados aeromagnetométricos de alta resolução. O conhecimento da profundidade Curie permite estimar o gradiente e o fluxo térmicos médios da região, podendo se constituir numa ferramenta auxiliar na prospecção de petróleo, devido à maturação de hidrocarbonetos estar ligada à distribuição de temperatura. Foram observadas discrepâncias entre os valores térmicos calculados dos poços e estimados a partir das profundidades Curie, mostrando que o gradiente geotérmico, extraído a partir dessas informações, varia lateralmente e com a profundidade. A correlação da superfície Curie com os elementos estruturais, observados com o auxílio de dados gravimétricos, sugere uma forte relação do arcabouço tectônico com a compartimentação térmica existente na bacia.

O estudo de anomalias magnéticas do campo magnético terrestre pode ser aplicado para a prospecção de petróleo, que é quase sempre dirigido para a determinação da topografia do embasamento de rochas ígneas e metamórficas que está recoberto por rochas sedimentares. Como o efeito magnético das rochas sedimentares é muito fraco, as anomalias mais fortes observadas sobre uma bacia sedimentar devem estar associada às rochas do embasamento. Assim, dois tipos de anomalias são reconhecidos: anomalias intra-embasamento (concentrações de minerais magnéticos no embasamento) e anomalias supra-embasamento, relacionadas aos desníveis (topografia ou soerguimento estrutural) na superfície do embasamento, produzindo amplitudes bem suaves. Esses últimos são mais importantes para petróleo, porque as elevações na superfície do embasamento podem ter afetado os sedimentos sobrejacentes, produzindo arqueamentos e, portanto, condições de armazenamento de petróleo. Os dados magnéticos podem, também, ser utilizados para separar o efeito diapírico dos domos de sal e folhelhos, devido às características pouco magnéticas desses corpos.

6.2 Localização da área de estudo

No final de 2001 e metade de 2002, através de um acordo firmado entre a companhia Petróleo Brasileiro S.A. – PETROBRAS e a empresa LASA Engenharia e Prospecções S.A., foram levantados dados aeromagnetométricos relativos ao Projeto Bahia Sul, constando de cerca de 133.000 km de perfis aerogeofísicos, recobrimdo uma área de aproximadamente 75.229 km² no litoral sul do estado da Bahia (Figura 20).

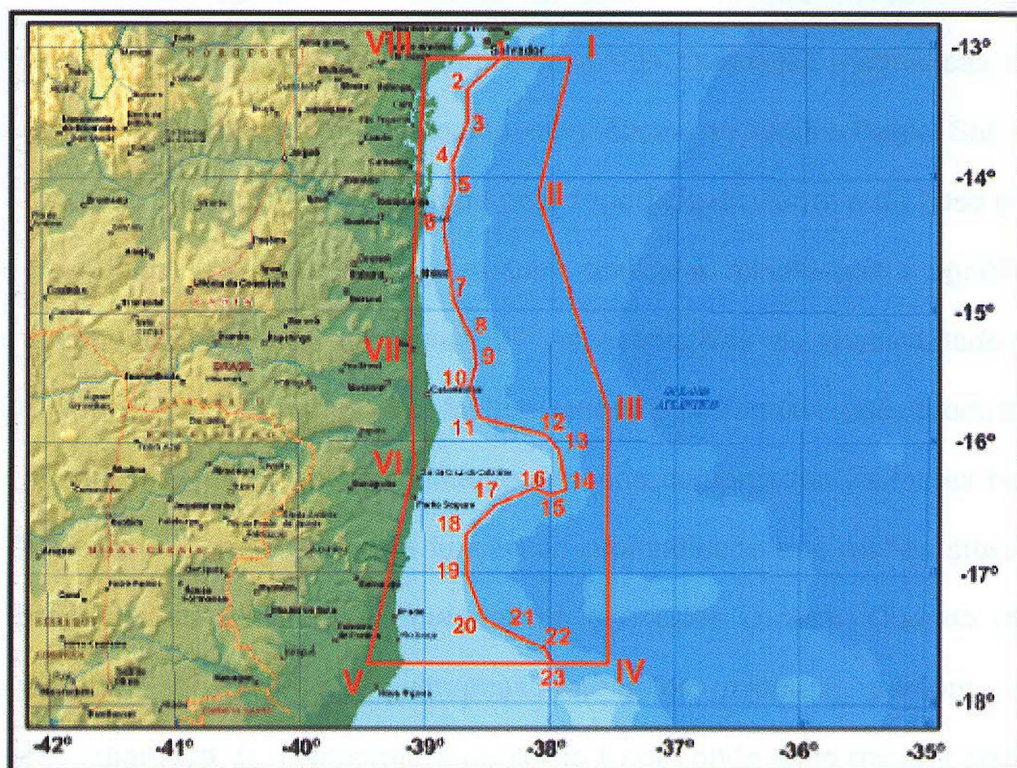


Figura 20: *Localização da área de estudo*

6.3 Estruturação do trabalho

Um breve histórico é feito no começo desta dissertação envolvendo trabalhos anteriores realizados para a determinação da profundidade Curie utilizando a técnica de análise espectral aplicada aos dados aeromagnéticos, assim como mostra os principais autores estudados durante a elaboração desta pesquisa.

Um dos parâmetros importantes que determinam a profundidade relativa da superfície Curie com respeito ao nível do mar é o conteúdo de calor em uma região específica.

A parte seguinte apresenta a técnica de análise espectral introduzido por SPECTOR & GRANT (1970) para a interpretação das anomalias magnéticas e a obtenção da profundidade basal das fontes magnéticas na região Bahia Sul. As estruturas magnéticas são limitadas no topo pela superfície da Terra, e na base pela superfície do ponto Curie apropriado para uma particular mineralogia magnética, conforme o esquema ilustrado na Figura 21. As estimativas da profundidade da temperatura Curie estão ligadas às fontes crustais profundas que produzem anomalias magnéticas de longo comprimento de onda comparadas às fontes mais rasas. O aumento da temperatura em função da profundidade nas rochas crustais altera as propriedades dos minerais magnéticos que estas contêm. Quando uma certa temperatura é atingida e ultrapassada, estes minerais perdem sua magnetização, chamada de *Temperatura do ponto Curie*, onde cada mineral possui uma temperatura Curie característica. Sabe-se que a magnetização dos corpos geológicos é devida quase que unicamente à presença da magnetita, cuja temperatura Curie é de 580 °C.

Nesta seção, a obtenção dos dados pertinentes à profundidade da superfície Curie baseou-se no estudo detalhado do comportamento dos espectros de potência médio radial dos dados magnéticos, agrupados em janelas quadráticas de 60 x 60 km, com 50% de superposição, cujo tamanho foi definido após análise do seu efeito sobre a banda espectral utilizada na estimativa da profundidade das fontes profundas. Resultados das análises espectrais são apresentados nesta parte da dissertação como mapas de contorno que mostram a profundidade dos três horizontes magnéticos.

Para estimar a profundidade média do conjunto de dados do grid, foram adotadas metodologias já bem aceitas para estudos com o mesmo propósito deste

(SPECTOR & GRANT, 1970; OKUBO et al., 1985). O modelo físico usado inicialmente por SPECTOR e GRANT (1970), consistiu em considerar o relevo magnético representado por um conjunto de corpos prismáticos, de seção quadrada, com topo onde estariam as fontes intracrustais, de comprimento infinito, cada qual com magnetização constante. Um dos principais resultados desta análise é que a forma esperada do espectro composto para uma família de corpos ou fontes magnéticas é a mesma que seria gerada por um corpo simples, utilizando-se a média dos parâmetros do conjunto deles que formam fontes individuais. Se as susceptibilidades magnéticas dos prismas são suficientemente aleatórias, então a população dos prismas pode ser tratada estatisticamente. Nesse caso, o logaritmo do espectro de potência resultante da resposta magnética das fontes sob cada janela de dados é um segmento linear, cujo declive (coeficiente angular) negativo é proporcional à profundidade média das fontes.

Outros dados geofísicos realizados na área de estudo forneceram informações que auxiliaram no entendimento da estrutura crustal das bacias estudadas, no caso da gravimetria, assim como modelos bi-dimensionais para a estimativa da profundidade do embasamento e espessura da seção rifte foram construídos em algumas áreas da região Bahia Sul, auxiliadas por dados de sísmica de reflexão. Neste trabalho, não se entrará nos pormenores desses dados focando a atenção nos resultados magnetométricos, não obstante quando necessários serão apresentados gráficos e mapas de contorno que contêm tais dados.

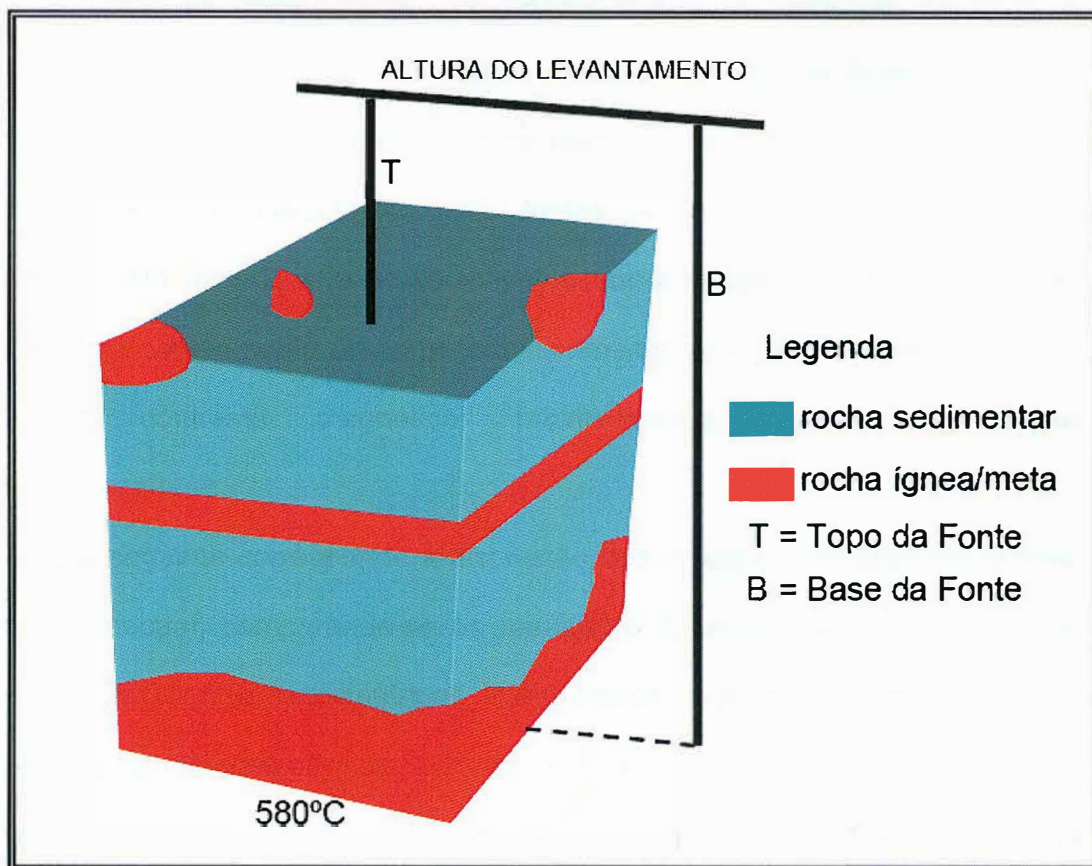


Figura 21: Esquema ilustrativo da localização das fontes magnéticas

Ainda nesta seção, alguns aspectos do processamento de dados aeromagnetométricos e gravimétricos são descritos. A partir dos dados de magnetometria aérea é possível estimar as dimensões de corpos magnetizados, daí permitindo estimar também a profundidade onde as rochas perdem sua magnetização, sendo este fenômeno chamado de profundidade do ponto Curie. Os mapas de contorno gravimétrico Bouguer residual, batimétrico, de anomalias magnéticas e do sinal analítico foram construídos e discutidos qualitativamente fornecendo uma descrição regional da estrutura crustal da área. A interpretação do mapa de lineamentos gravimétricos permitiu delinear uma compartimentação litosférica com boa correlação com as províncias estruturais das bacias. Com

respeito ao mapa do Sinal Analítico do Campo Magnético Residual, foi possível definir duas regiões de anomalias, onde a metade superior da área estudada é caracterizada pela predominância de anomalias de grande amplitude e longo comprimento de onda característico de fontes profundas provavelmente intra-embasamento. Na metade inferior do mapa, observa-se uma região de amplitude mínima e longo comprimento de onda, provavelmente associado a ausência de um corpo com contraste magnético, provavelmente ligadas às rochas vulcanossedimentares.

A seção seguinte corresponde à discussão dos resultados alcançados através da análise espectral, comparando-se os resultados da superfície Curie calculada, com os compartimentos gravimétricos interpretados a partir de informações de satélite e suas correlações com as linearidades Curie e com a fase do sinal analítico do campo magnético residual. Os resultados também foram comparados com as análises das seções sísmicas interpretadas fornecidas pelo projeto LEPLAC, a fim de se discutir a influência da tectônica extensional da bacia sobre a conformação atual das estruturas Curie determinadas neste estudo.

A última parte dessa dissertação trata das principais conclusões alcançadas, onde se discute a importância do método de análise espectral para o cálculo da profundidade basal magnética (profundidade Curie), auxiliado pela integração de outros dados geofísicos.

6.4 Temperatura Curie

As propriedades das rochas e os processos físicos são afetados pela distribuição de temperatura e pressão na litosfera terrestre. Em uma determinada profundidade na litosfera, a temperatura atinge um valor em que as propriedades magnéticas das rochas são afetadas, provocando uma desmagnetização. Essa transição é reversível através do resfriamento do material. Essa temperatura é denominada como Ponto Curie, sendo possível a estimativa de sua profundidade através do processamento e tratamento de dados magnéticos. O ponto Curie é usualmente referido a uma temperatura de $550\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 30\text{ }^{\circ}\text{C}$. A crosta magnética é a parte da crosta onde ocorre significativa magnetização e o limite inferior acima da qual existe magnetização na crosta é a isoterma do ponto Curie.

Rochas crustais perdem sua magnetização na temperatura do ponto Curie (TC). Nessa temperatura, minerais ferrimagnéticos tornam-se paramagnéticos e suas habilidades em gerar anomalias magnéticas detectáveis desaparecem. Com isso, o nível mais profundo na crosta acima da qual os materiais criam assinaturas perceptíveis em um mapa de anomalia magnética é geralmente interpretado como a profundidade da superfície do ponto Curie. Cada mineral magnético possui TC característica de acordo com sua composição. Para a magnetita pura a temperatura Curie é de $580\text{ }^{\circ}\text{C}$ (NAGATA, 1961).

A determinação espacial de várias profundidades Curie em uma região permite o traçado de um mapa de superfície Curie, termo mais adequado para caracterizar diferentes temperaturas de desmagnetização em uma crosta continental não

uniforme. A determinação da superfície Curie pode indicar feições na litosfera tais como:

- a) mudança composicional vertical da crosta (BULINA, 1961, HALL, 1968, GASPARINI et al., 1979, HALL et al., 1985);
- b) a interface entre a crosta e o manto (GASPARINI et al., 1979);
- c) relevo do embasamento magnético;
- d) variações laterais de composição da crosta (ARKANI-HAMED & STRANQWAY, 1985).

6.5 Dados Aeromagnéticos

O Levantamento Aeromagnetométrico de Alta Resolução do litoral sul do estado da Bahia foi conduzido no período de 28 de dezembro de 2001 a 7 de maio de 2002, constando de cerca de 133.000 km de perfis aerogeofísicos, recobrimo uma área de aproximadamente 75.229 km², abrangendo as bacias Camamu, Almada, Jequitinhonha e Cumuruxatiba. O contrato foi firmado entre a companhia Petróleo Brasileiro S.A. – PETROBRAS e a LASA Engenharia e Prospecções S.A, empresa responsável pela aquisição e pelo processamento digital dos dados.

Para a aquisição dos dados magnéticos, foram utilizadas três aeronaves equipadas com magnetômetro de bombeamento ótico de vapor de césio e sistema de posicionamento e navegação por GPS, de precisão melhor do que 5 m. O sistema aeromagnético possui resolução de 0,001 nT e taxa de amostragem de 10 Hz.

Para recobrimento da área definida pelo projeto, foram empregadas cerca de 502 horas de voo, resultando no levantamento de 132.518 km de dados geofísicos aprovados, obtidos a uma altitude média de 150 m. A área do projeto foi levantada com espaçamentos de 500 m e 1.000 m para as linhas de produção e de 4.000 m para as linhas de controle, orientadas nas direções N45°W e N45°E (linhas de controle). O espaçamento das linhas de produção com 500 m foi utilizado na parte rasa do litoral (0 a 200 metros de profundidade) em linhas intercaladas ("infil") com as de espaçamento de 1.000 m (Figura 22).

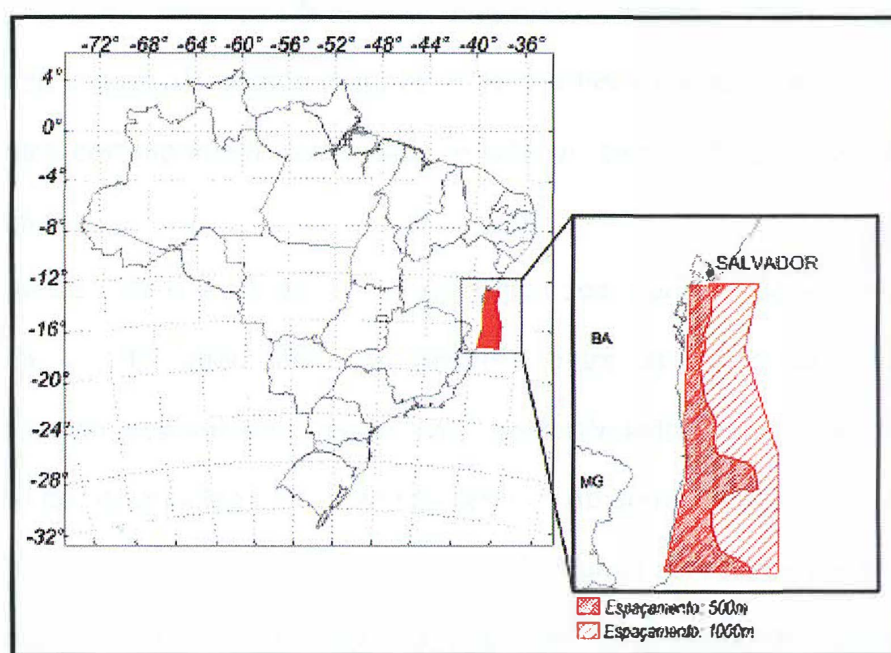


Figura 22: Mapa de localização do levantamento aeromagnetométrico

Ao longo dos perfis foram realizadas dez leituras do aeromagnetômetro por segundo, posicionadas com sistema de observação de satélite GPS, de precisão melhor do que 5 m. Os dados foram registrados a bordo da aeronave, digital e

analogicamente, pelo sistema de aquisição. Estações fixas foram instaladas nas bases de operações, para monitoração da órbita dos satélites, assim como para controle da variação diurna do campo magnético terrestre. Para isso, foram utilizados os magnetômetros Scintrex CS-2 e GEM Systems GSM-19, de resolução de 0,001 nT e 0,01 nT respectivamente, e envoltória de ruídos de 0.1 nT ou inferior, sendo realizadas a intervalos de 1(CS-2) ou 3 (GSM-19) segundos.

Em relação ao processamento dos dados aeromagnéticos do Projeto Bahia Sul, inicialmente os valores obtidos pelo magnetômetro monitor foram inicialmente subtraídos do nível base, definido em 24228,39 nT para as observações realizadas. As diferenças encontradas, positivas ou negativas, foram, então, somadas algebricamente às leituras do campo magnético realizadas a bordo da aeronave. Os valores resultantes correspondem a intensidade total do campo magnético corrigido da variação diurna.

Posteriormente, foi executado o nivelamento dos perfis magnéticos, cuja diferença máxima de 1ª ordem define o desnível entre as linhas de medida e controle. Os dados do levantamento foram ainda micronivelados para eliminação de qualquer resíduo de “desnivelamento” que não tenha sido corrigido pelo nivelamento convencional. O processo consistiu na geração de dois *grids* com filtros passa-baixa (domínio do tempo), atuando na direção das linhas de voo e perpendicularmente a elas, seguindo-se, então a criação de um *grid* final decorrugado, resultante do somatório dos *grids* que, por sua vez, foi subtraído do *grid* original, expressando o erro de nivelamento a ser subtraído aos dados pré-nivelados conforme o procedimento inicial acima.

O campo magnético anômalo para cada um dos pontos amostrados foi obtido pela subtração, ao campo total nivelado, do valor do IGRF calculado para o ponto com base nos coeficientes do ano de 2000 fornecidos pelo NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration*, resultando deste processo nos valores do campo magnético anômalo.

Os dados anômalos foram, então, transformados em malha regular, às vezes referido neste estudo como campo magnético residual (dimensões de 125 m x 125 m), resultando em um mapa de contorno do campo magnético anômalo. A partir deste mapa, foram originados os mapas de amplitude e fase do sinal analítico, sendo posteriormente usados para definição dos lineamentos magnéticos, revelando assim o arcabouço estrutural da região de estudo.

6.6 Dados complementares

Outros dados (gravimétricos, sísmicos, dados de poços) foram obtidos e integrados aos resultados da pesquisa ajudando na interpretação dos objetivos em subsuperfície.

Como principais mapas temos o de anomalias free-Air (Figura 23) e Bouguer Simples (Figura 24).

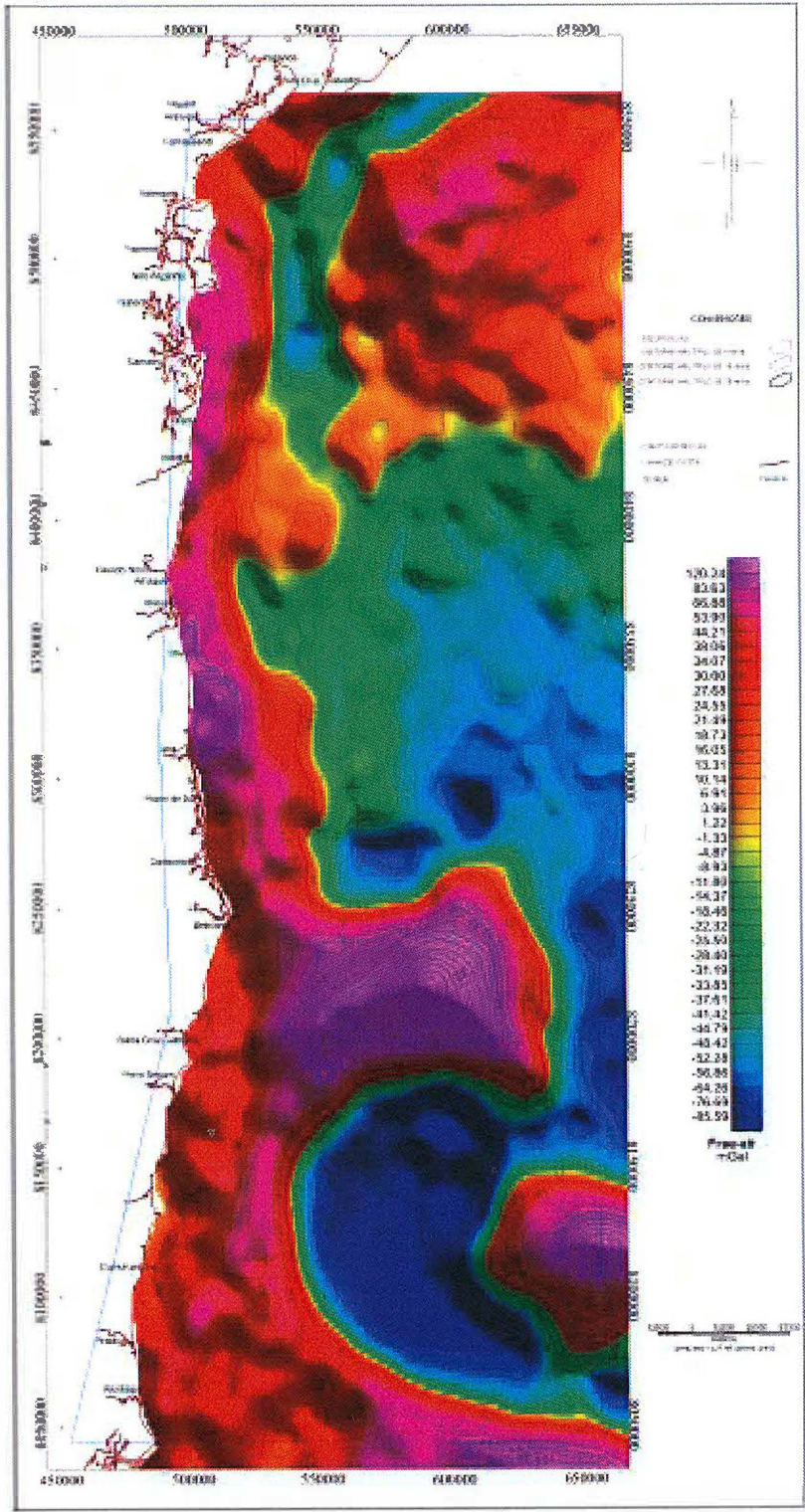


Figura 23: Mapa de anomalia free-air

6.7 Mapa Topográfico-Batimétrico

Nos oceanos, uma batimetria detalhada é importante para o entendimento da geofísica marinha. Como a taxa de erosão é baixa nas áreas oceânicas, uma batimetria detalhada pode revelar a subsidência/resfriamento da litosfera oceânica e a distribuição de cadeias vulcânicas. Os dados de batimetria usados na confecção do mapa topográfico-batimétrico mostrado na Figura 25 possuem uma resolução de 3-10 km combinando todos os dados disponíveis, coletados a mais de 30 anos, com alta resolução gravimétrica marinha fornecida pelos altímetros Topex/Poseidon, ERS-1/2 e GEOSAT (SANDWELL, 1997).

Na área de estudo, a zona da plataforma é contínua, se estende da isóbata 60m até a isóbata 200m, se tornando irregular em frente à cidade de Belmonte e Alcobaça. Na região Bahia Sul, a largura da plataforma é, em geral, muito estreita, com um mínimo de 8 km em frente a Salvador e média de 50 km, devido à pequena contribuição da rede hidrográfica. Há um aumento na largura da plataforma nos bancos de Abrolhos e Royal Charlotte, devido à natureza acrescionária vulcânica observada na sísmica, nos levantamentos magnéticos, gravimétricos e em poços furados na região de Abrolhos e que podem ser inferidos para a região de Royal Charlotte através de análises em seções sísmicas.

Pode-se observar no mapa batimétrico (Figura 25) que o talude continental é relativamente íngreme e estreito devido ao contorno apertado das curvas batimétricas. A maior inclinação de talude da margem continental brasileira ocorre ao largo de Abrolhos. A borda da plataforma e o talude continental são recortados por cânions e canais que constituem remanescentes da drenagem desenvolvida em

períodos de mar regressivo – quando a atual plataforma esteve quase totalmente emersa – ou foram escavados por fluxos gravitacionais, submarinos, de massas de sedimentos, deslocadas na plataforma continental. Na margem continental Leste, FRANÇA (1979) apud PALMA (1984) constatou a existência de cânions bem desenvolvidos desde a plataforma até o sopé continental, tais como em Salvador e Doce.

Os declives, relativamente acentuados, do talude continental apresentam níveis menos inclinados até sub-horizontais que formam os platôs marginais ou, quando de menor extensão, os terraços marginais.

O platô da Bahia situa-se entre os bancos de Abrolhos e Royal Charlotte (entre 1.600 e 2.900 m), sendo seu relevo irregular e a inclinação acentua-se junto ao talude, caracterizando a existência de depósitos de tálus.

removido do grid Bouguer Simple um trend gravimétrico regional aplicando um polinômio de 3ª ordem que melhor se ajustou ao referido trend, obtendo-se o mapa Bouguer de Anomalia Residual (Figura 26).

De acordo com o mapa gravimétrico residual obtido para realçar as principais estruturas das bacias da região Bahia Sul, é possível definir e correlacionar alguns lineamentos gravimétricos (linhas amarelas cheias) destacados em trabalhos pretéritos e concordantes com as feições de direção lineares observadas no mapa da profundidade da superfície Curie, que será mostrado adiante, possivelmente provocados pelo deslocamento de blocos em razão de falhas e provavelmente pela intercalação de falhas antitéticas e sintéticas até a linha de charneira principal da bacia, segundo o trabalho de FILHO (2004).

Observa-se também trends regionais orientados segundo a direção NW-SE (linhas amarelas pontilhadas) coincidentes com as zonas de transferências ou acomodação interpretadas na literatura (seção Geologia das Bacias da Região Bahia Sul – Arcabouço Estrutural).

A característica comum em toda a área é o progressivo aumento no valor do gradiente na direção offshore, associado ao soerguimento da descontinuidade de Mohorovic, ou seja, um afinamento crustal cada vez maior naquela direção.

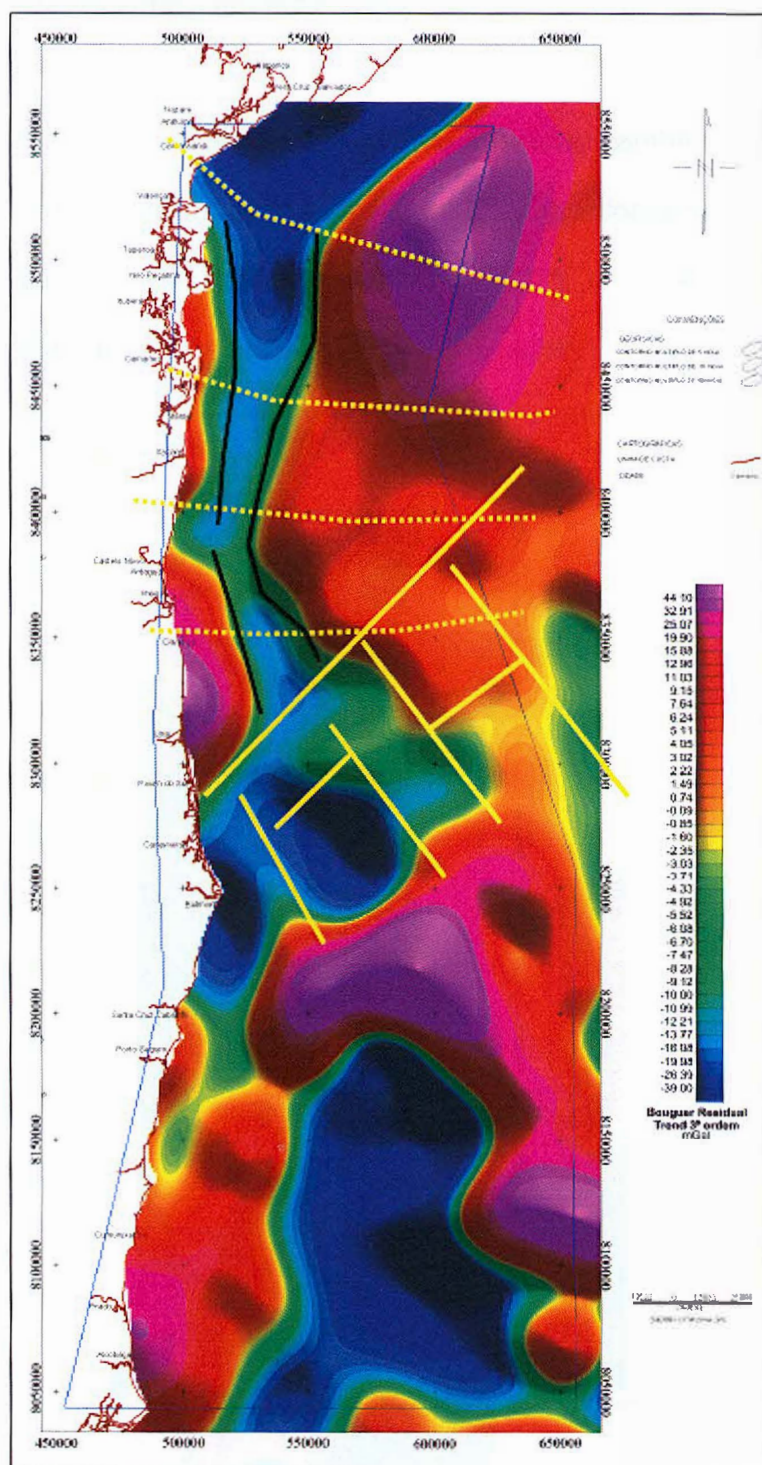


Figura 26: Mapa de anomalia Bouguer Residual (trend 3º ordem removido). Linhas amarelas pontilhadas (zonas de acomodação), linhas amarelas cheias (lineamentos gravimétricos), linhas pretas (falhas do embasamento)

6.8 Mapa de Anomalia Magnética

O mapa do campo magnético residual, também denominado anomalia do campo total, está mostrado na Figura 27. Os valores do campo magnético anômalo na região do levantamento variam de -239 nT a 230 nT, com valor médio de declinação de -23° e inclinação média de -28° .

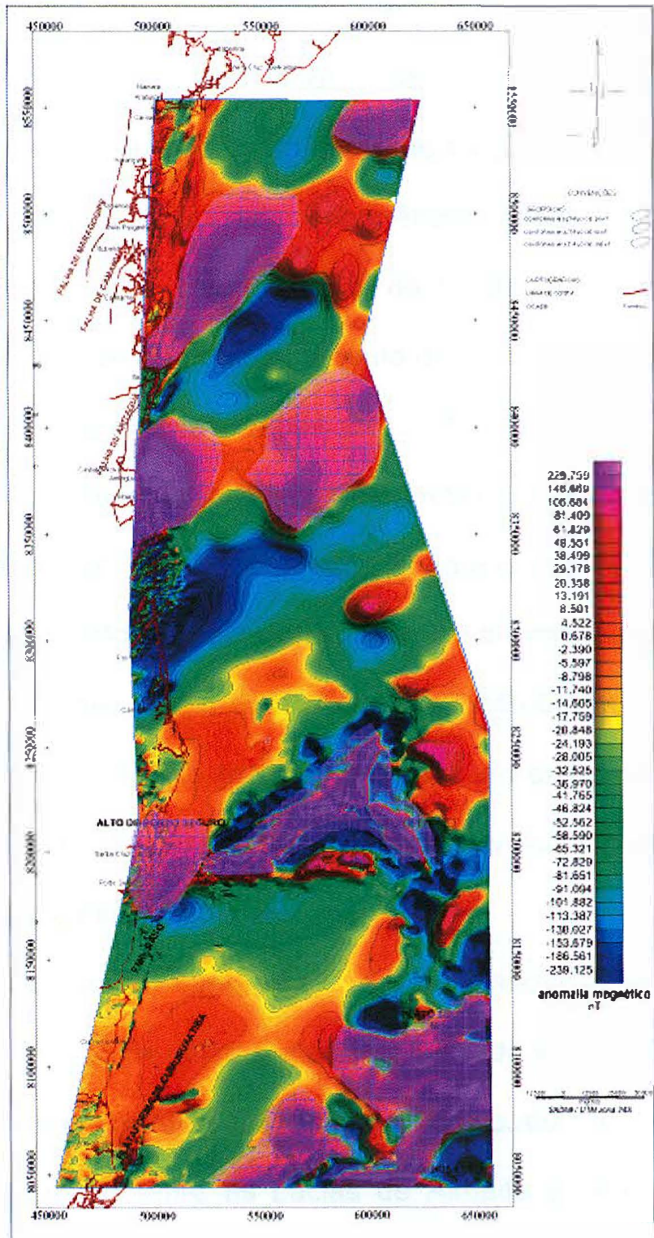


Figura 27: Mapa do campo magnético residual

As anomalias magnéticas consistem da superposição de anomalias de pequenos e longos comprimentos de onda. Várias províncias magnéticas podem ser reconhecidas com base na amplitude, forma, extensão horizontal, relevo de anomalia local e nível de intensidade geral.

Na área em estudo, puderam-se separar duas zonas contendo um conjunto de anomalias com características distintas. Na parte norte da área onde estão localizadas as bacias de Camamu-Almada e Jequitinhonha, anomalias de comprimento de onda longo estão alinhadas na direção NE-SW. A feição mais evidente é o grande baixo existente na parte central da bacia de Camamu-Almada, sendo envolvido por altos magnéticos. Essas feições provavelmente indicam uma mudança lateral composicional da crosta magnética nessa localidade. Este baixo magnético, de longo comprimento de onda, tem aproximadamente 50 km de largura e 100 km de extensão (entre as coordenadas UTM 8400S e 8475S).

Com respeito aos altos magnéticos, suas características (grande amplitude e comprimento de onda longo) sugerem fontes profundas, provavelmente intra-embasamento. A baixa amplitude da anomalia magnética e a coincidência dessa província magnética com o alto gravimétrico na mesma região sugerem que uma espessa seqüência sedimentar cobre um embasamento magnético de baixo relevo provavelmente consistindo de material vulcânico de alta densidade de composição petrológica intermediária.

Na borda oeste da área de pesquisa, ocorrem anomalias de pequeno comprimento de onda e grande amplitude provavelmente relacionadas às falhas de borda das bacias e/ou regiões de embasamento raso a sub-aflorante. Mais precisamente entre as bacias de Almada e Jequitinhonha (entre 8375S e 8300S UTM), anomalias de alta freqüência com trends de direção NE-SW estão ligadas à

feição geológica conhecida como Alto de Olivença, correspondendo a um bem conhecido afloramento de intrusão ígnea.

Na parte sul da área de pesquisa, na bacia de Cumuruxatiba, é possível visualizar anomalias de pequeno comprimento de onda e forte amplitude, com direção aproximada NE-SW. Essas anomalias de alta frequência, localizadas nas partes norte e no canto sudeste da bacia de Cumuruxatiba, estão associadas aos complexos vulcânicos de Royal Charlotte, Sulphur Minerva e Abrolhos, respectivamente.

6.9 Mapa de Amplitude do Sinal Analítico

Informações diferentes podem ser obtidas através da análise do mapa de amplitude do sinal analítico. Em termos matemáticos, o sinal analítico corresponde ao módulo das somas dos gradientes (derivadas) das anomalias de campos potenciais nas três direções ortogonais, x , y e z (NABIGHIAN, 1984).

Neste tipo de processamento, as máximas amplitudes localizam-se sobre os vértices das fontes, permitindo uma correlação direta com feições de interesse tais como: falhas, contatos, limites de rochas ígneas e diápiros de sal. De acordo com a teoria do sinal analítico, regiões de amplitude máxima caracterizam intensa variação magnética (correlação estrutural) e de amplitude mínima, uniformidade magnética.

De acordo com o mapa da amplitude do sinal analítico (Figura 28), nota-se a predominância de anomalias de grande amplitude e longo comprimento de onda na metade superior do mapa em estudo, sendo característico para este tipo de informação de fontes profundas provavelmente intraembasamento.

Nesses picos de máxima amplitude, além de outros, foram traçadas com linhas brancas pontilhadas no mapa as estruturas de direção dominante NE-SW que não coincidem com as feições estruturais mapeadas do arcabouço estrutural, sugerindo que as falhas interpretadas no mapa do sinal analítico são herdadas do embasamento.

Na metade inferior do mapa, observa-se uma região de amplitude mínima e longo comprimento de onda, provavelmente associado a ausência de um corpo com contraste magnético. Essa província fracamente magnética pode estar associada a presença de rochas vulcanossedimentares. Esta porção do mapa é caracterizada também pela presença das mais notáveis anomalias positivas em tamanho e intensidade, relacionadas aos bancos vulcânicos intrudidos nos sedimentos bacinais, conforme descritos anteriormente.

A título de comparação é apresentado o arcabouço estrutural da área de pesquisa (Figura 29).

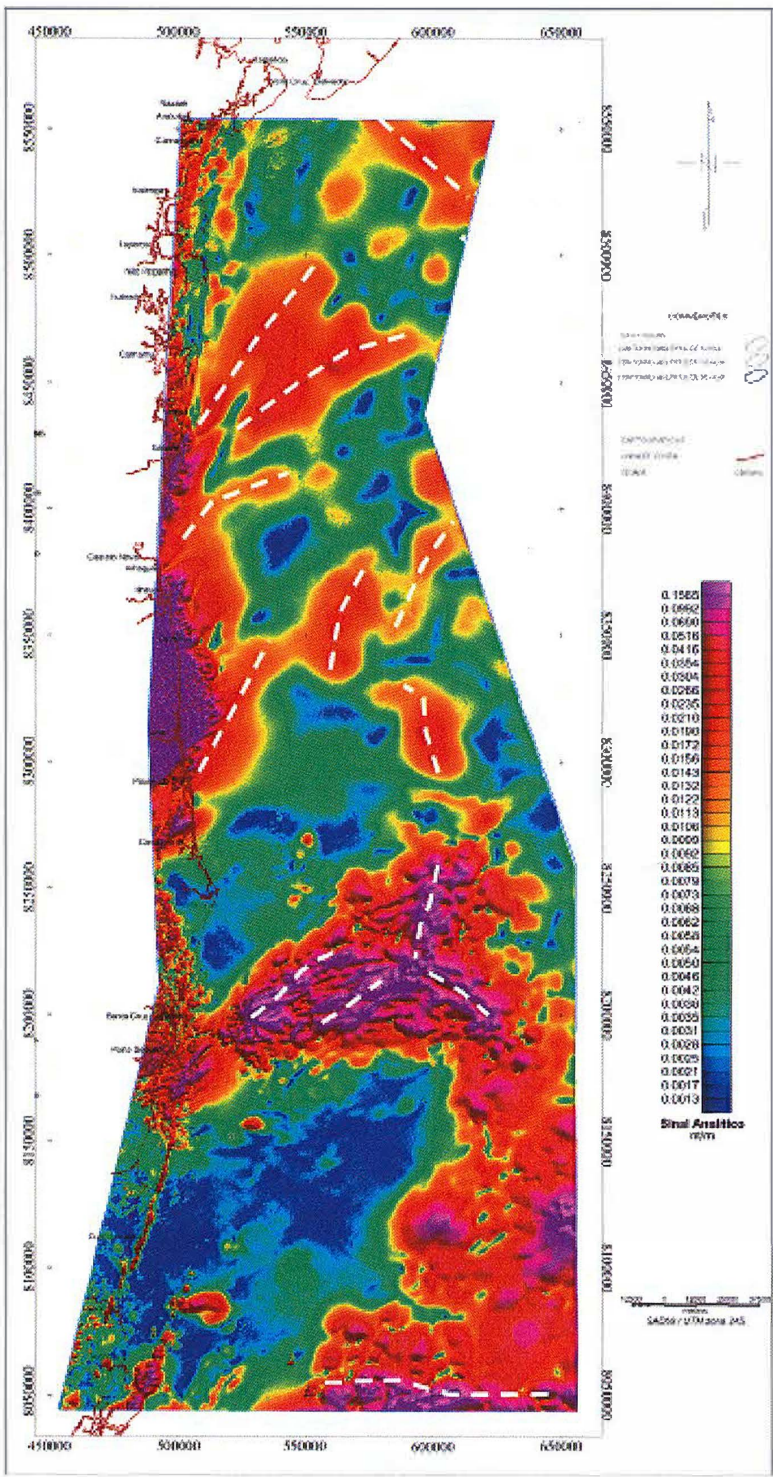


Figura 28: Mapa da amplitude do Sinal Analítico do Campo Magnético Residual. Linhas brancas pontilhadas (feições de máximas amplitudes)

6.10 Superfície Curie

A Figura 30 corresponde ao mapa de contorno da profundidade média da superfície Curie. A profundidade desse horizonte está compreendida numa faixa de 5 km a 31 km, com uma média de 15 km abaixo do nível do mar. Não há uma correlação óbvia entre esta superfície e as anomalias magnéticas positivas alongadas na direção E-W e localizadas na porção norte da área de estudo (entre as coordenadas 8500 e 8350, Figura 27).

Correlacionando os valores da superfície Curie com as informações gravimétricas apresentadas anteriormente neste trabalho, a porção mais profunda da superfície Curie localizada na parte norte da área de estudo, estendida na direção N-S, é aproximadamente coincidente com as anomalias Bouguer residual negativas que representam a calha principal identificada na Figura 30. O platô Royal Charlotte, que está realçado no mapa Bouguer Residual por uma grande anomalia positiva (Figura 26), coincide com valores mais rasos da 'crista' Curie, assim como no Alto de Olivença e nos platôs Sulphur Minerva e Abrolhos, localizados na parte mais a sul do platô Royal. Estes setores, conforme descrito anteriormente, também apresentam feições magnéticas marcantes, caracterizadas por fortes gradientes. Entre as coordenadas UTM 8300S e 8350S, um baixo magnético e gravimétrico alongado na direção E-W coincide com os valores mais profundos da superfície Curie. Coincidem, entre as coordenadas UTM 8050S e 8150S, as anomalias magnéticas de gradiente intermediário com uma ampla anomalia Bouguer residual positiva relacionada aos valores mais profundos ('bacias Curie') da superfície Curie.

Importante notar a presença de uma feição mais rasa de direção N-S na borda oeste da bacia de Camamu-Almada (coordenadas UTM 8400S e 8550S), ligada provavelmente à falha de borda da bacia em questão.

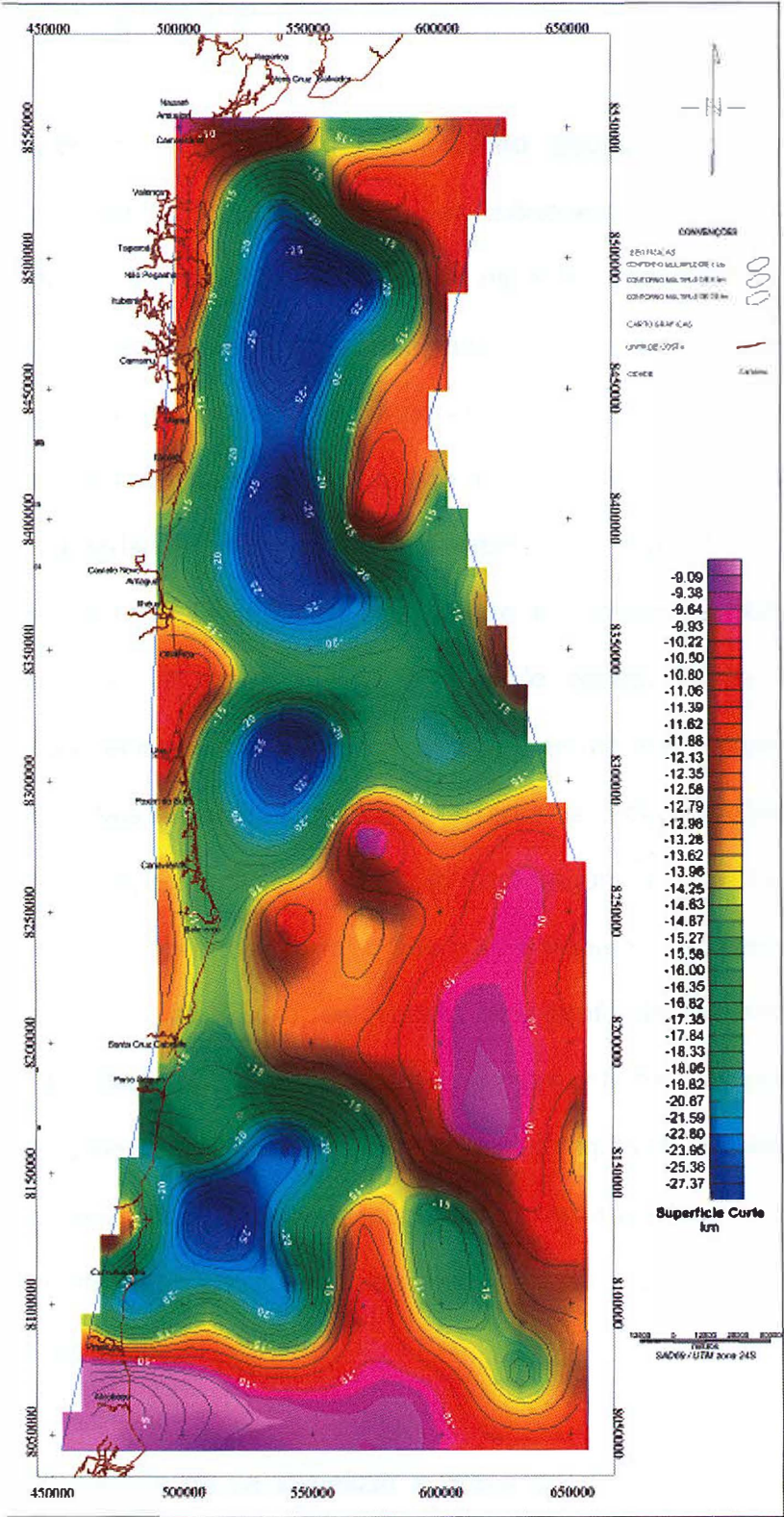


Figura 30: Mapa de contorno da profundidade da Superfície Curie

6.11 Integração dos Dados

Através da superposição do contorno Bouguer residual com o mapa da superfície Curie (Figura 31), pôde-se observar a boa correlação da calha gravimétrica N-S com a superfície Curie mais profunda. Neste caso, considerando um contraste de gravidade de, aproximadamente 0,2 mGal sobre a calha na porção norte da área, calcula-se um depocentro de, aproximadamente, 8 a 10 km, sugerindo a presença de rift mais antigo do que o já amostrado pelos poços, onde a feição característica está ressaltada também pela superfície Curie mais profunda (aproximadamente 27 km). Tal observação é consistente com a estimativa de o pacote sedimentar atingir até 10.000 m de espessura na bacia de Camamu, abrangendo registros de todos os estágios termo-mecânicos característicos das bacias marginais brasileiras, conforme descrita na seção de Geologia deste trabalho. Esta calha se apresenta no mapa com uma largura média em torno de 50 km e o valor do seu depocentro é corroborado com o trabalho de interpretação gravimétrica realizado por FILHO (2004), calculando uma profundidade em torno de 10-12 km próxima à cidade de Valença. Com base em informação verbal, através de um estudo de paleotensões na faixa litorânea da região da Bahia, há indícios de que existe um paleorift (denominada bacia Mayombiana) nessa região que se prolonga até a bacia do Recôncavo, justificando se possível, a presença de um rift mais antigo na bacia de Camamu-Almada.

A dificuldade de se visualizar a presença de um rift sugerido pelas imagens sísmicas na bacia de Jequitinhonha e descrito na seção já indicada acima é devido à

presença do banco vulcânico Royal Charlotte, que exerce uma significativa influência no sinal gravimétrico resultante.

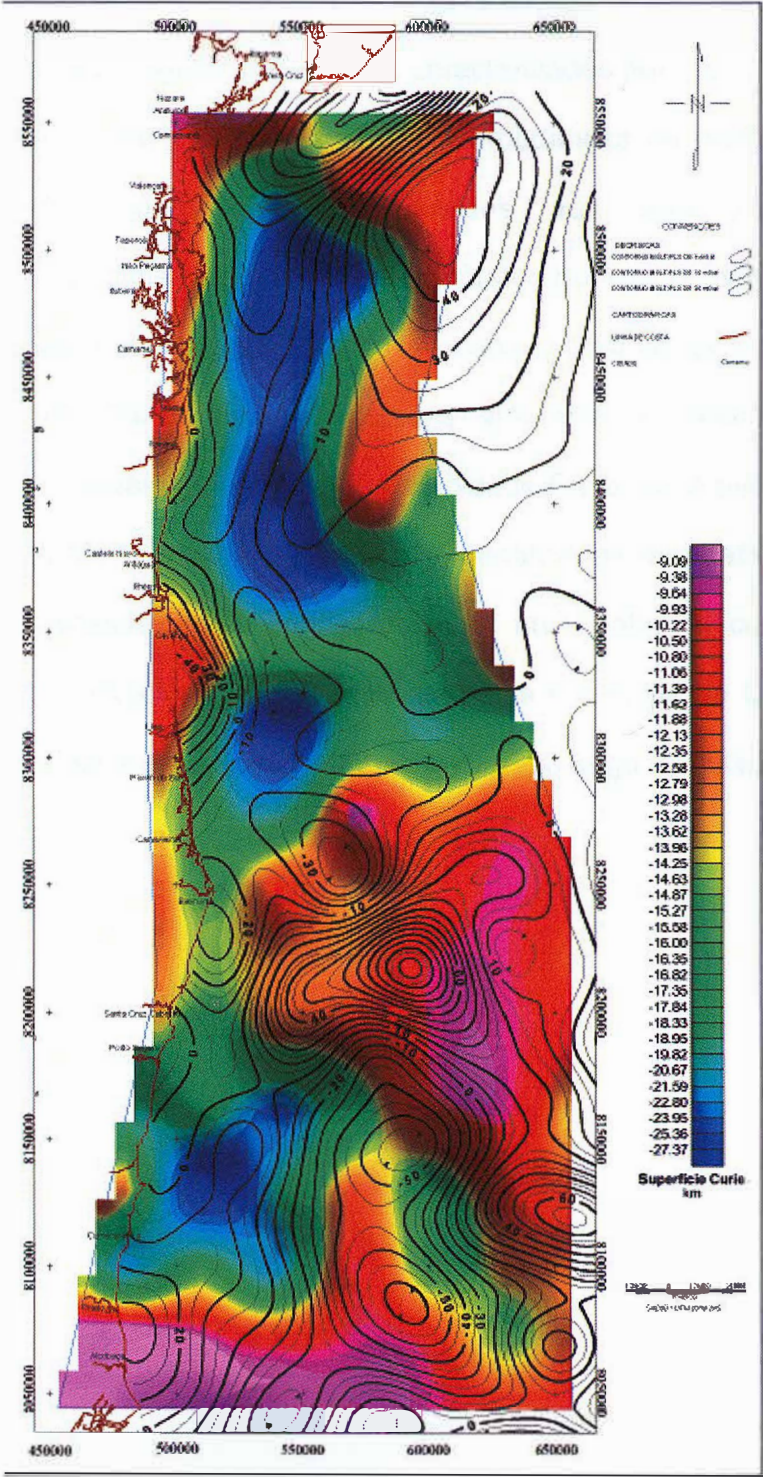


Figura 31: Mapa de contorno Bouguer residual sobreposto a profundidade da Superfície Curie

A respeito da combinação dos atributos de cor relativos aos valores da superfície Curie com de sombra de falso relevo da fase do sinal analítico (Figura 32), é possível traçar alguns lineamentos caracterizados por estruturas bem marcadas na fase do sinal analítico coincidentes com mudanças na profundidade Curie. Esses lineamentos podem estar relacionados aos seguintes fatores: mudança composicional mineralógica definindo contatos geológicos (linha pontilhadas pretas), presença de domos de sal, devido ao baixo gradiente geotérmico aprofundando a profundidade Curie (linhas tracejadas amarelas) e também falhas de bordas caracterizadas pela mudança na profundidade Curie (linha preta cheia). Essas falhas de borda estão relacionadas às falhas identificadas nos trabalhos anteriores e que foram responsáveis pela configuração da atual linha de costa, como a falha de Maragogipe, situada no limite oeste da bacia e a Falha de Camamu, localizada na porção emersa e ancorada no embasamento ao largo da cidade de Camamu.

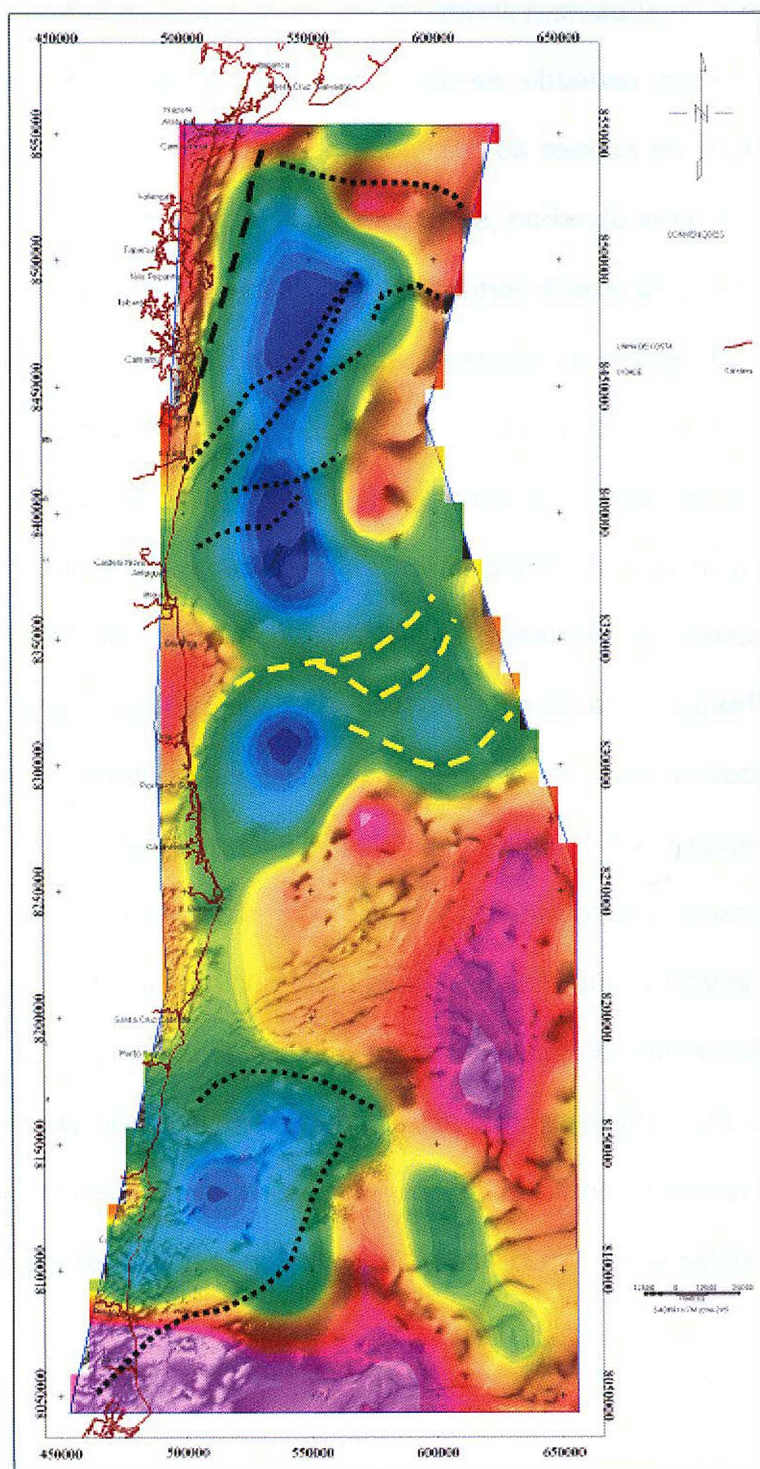


Figura 32: Mapa Composto da fase do sinal analítico com a profundidade da Superfície Curie

Em relação aos elementos estruturais marcados no mapa estrutural sobreposto à superfície Curie (Figura 33), pode-se observar com relação aos lineamentos gravimétricos a coincidência destes com os relevos encontrados nas bacias Curie e nos contatos destes com as cristas Curie, podendo sugerir que essa área foi afetada por um evento termotectônico pretérito que alterou as propriedades magnéticas das rochas nessa profundidade. O padrão estrutural delineado em trabalhos pretéritos é concordante com as feições lineares observadas no mapa da profundidade da Superfície Curie, que também é marcado no mapa Bouguer Residual (Figura 26), como já mostrado anteriormente, onde podemos sugerir a ocorrência de possíveis transcorrências de direção NW-SE, resultantes do deslocamento da Placa Sul-Americana, responsáveis pela configuração atual da superfície Curie. A percolação de fluidos hidrotermais entre as fraturas pode estar associada às falhas regionais (zonas de transferência), com possíveis cristalizações de óxidos de ferro (magnetita), justificando a presença de anomalias lineares profundas. Sobre as interpretações geológicas disponíveis na literatura relativas ao arcabouço estrutural da bacia, é importante ressaltar uma aparente correlação observada entre as falhas do embasamento (linhas pontilhadas em marrom) com as províncias ligadas à mudança de gradiente da profundidade Curie, mostrando a forte relação do arcabouço tectônico com a compartimentação térmica existente na bacia.

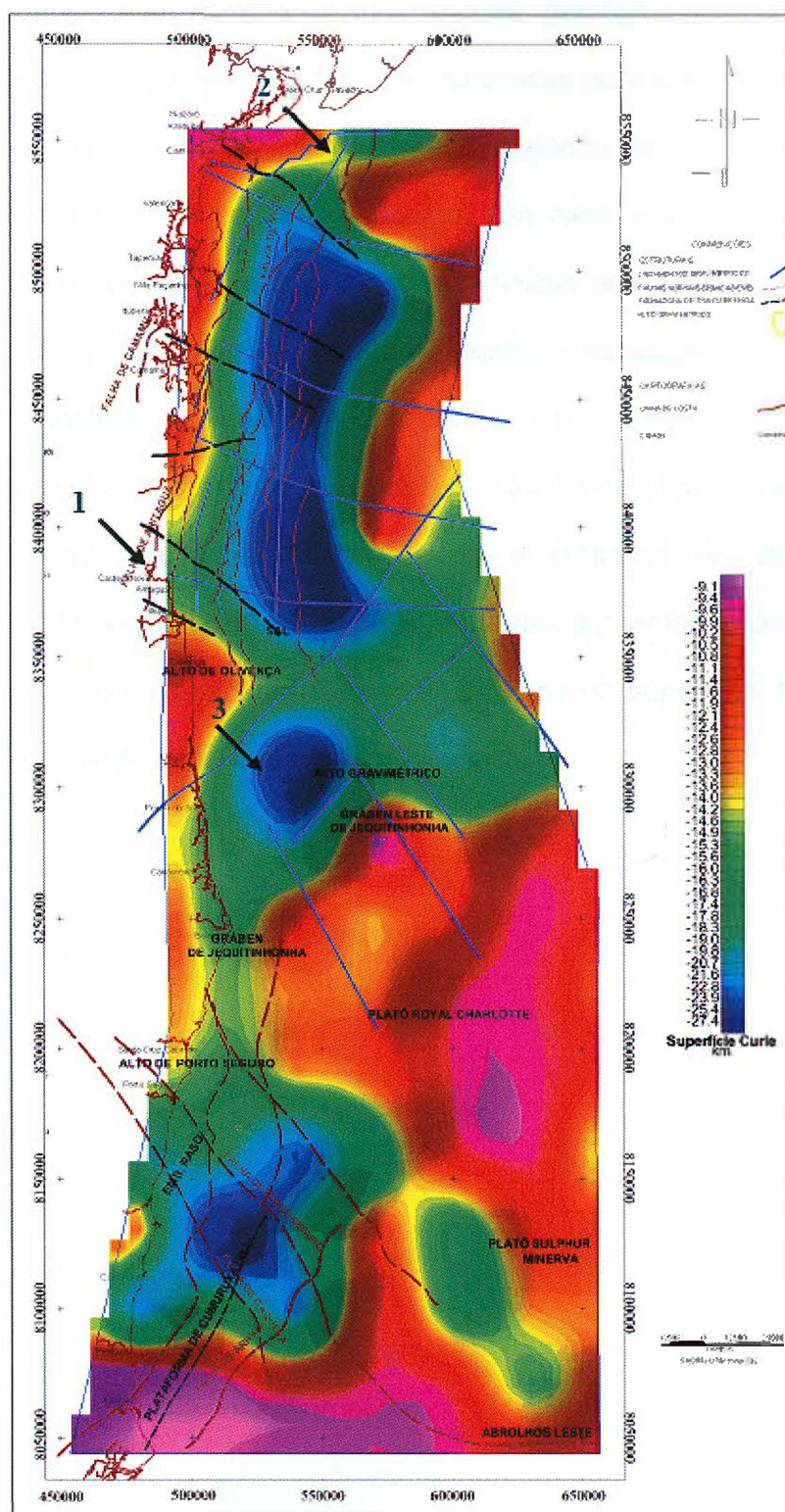


Figura 33: Mapa da profundidade da Superfície Curie e arcabouço estrutural da área, com os principais lineamentos definidos neste estudo

Abaixo, são mostradas três seções geológico-geofísicas (seções 1 a 3) resumindo as propriedades físicas encontradas para cada trecho de acordo com as observações e análises feitas através dos dados de gravimetria, magnetometria e fluxo térmico utilizados neste trabalho. Em cada seção, são apresentados perfis contendo as variações das propriedades físicas referidas acima ao longo dos locais indicados no mapa (Figura 34). Como exemplo, na seção 2, é possível observar que o ponto indicado no mapa é caracterizado por conter um terreno com litologias apresentando densidades baixas, susceptibilidades magnéticas médias e condutividades térmicas baixas devido à presença de um intervalo contendo possíveis litologias tipicamente mais resistivas, aumentando com isso o fluxo térmico da região até uma profundidade mais próxima da superfície, tornando mais rasa a profundidade da superfície Curie nesse local.

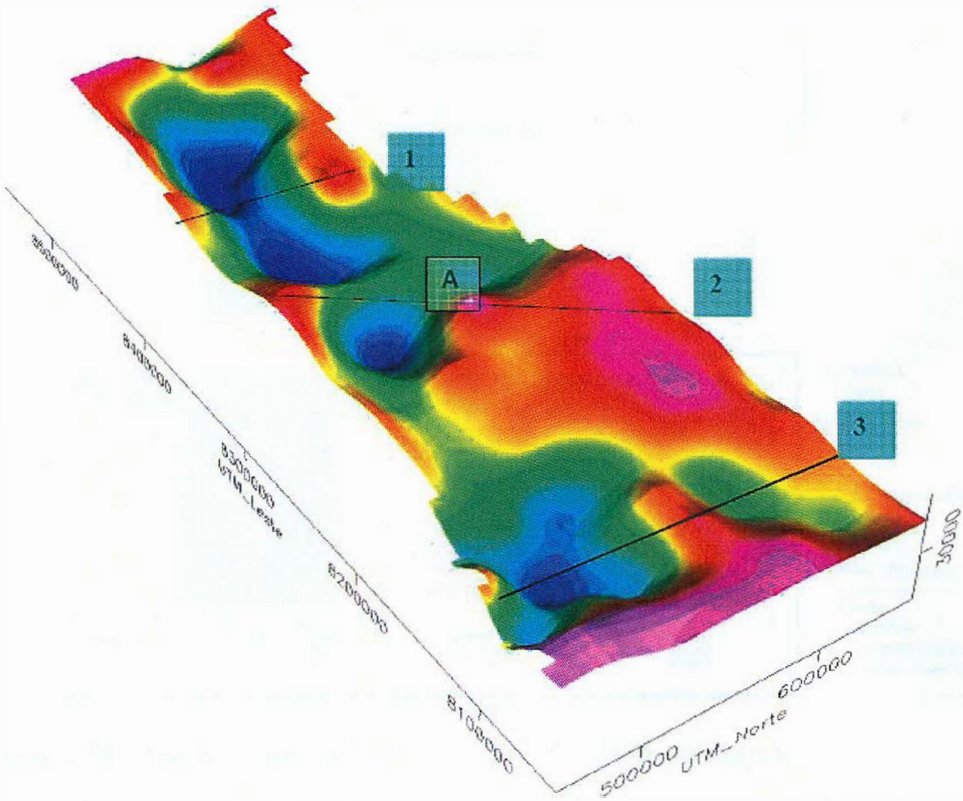


Figura 34: Mapa 3D da profundidade da Superfície Curie com as localizações das seções geológico-geofísicas construídas com base nos métodos potenciais analisados neste estudo.

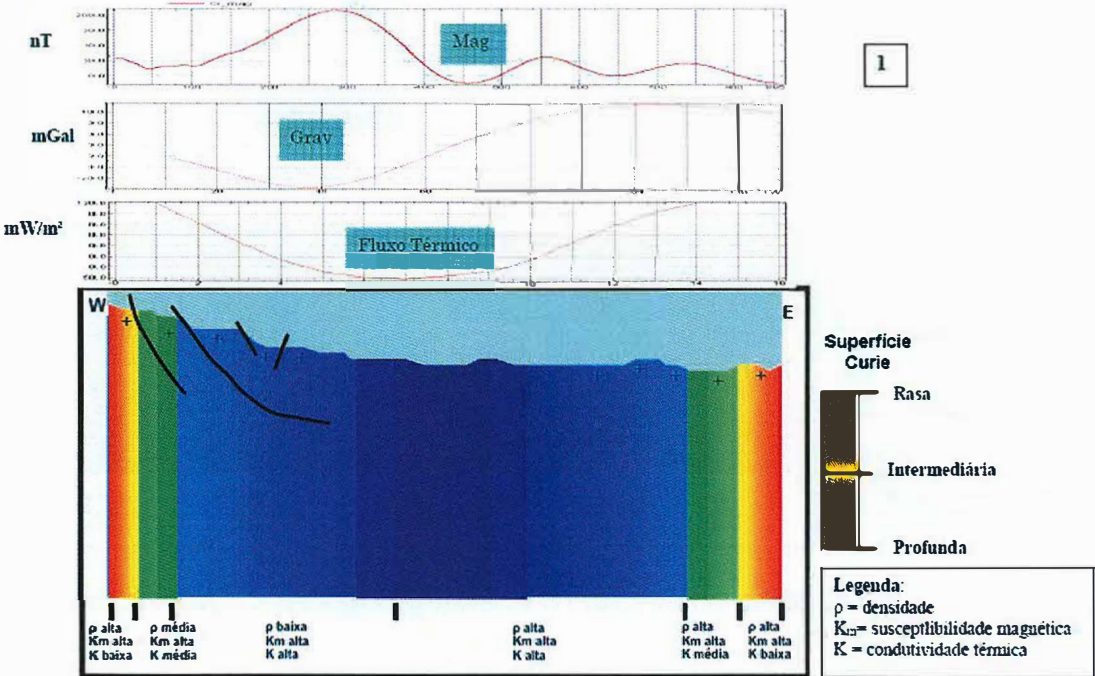


Figura 35: Seção geológico-geofísica 1 indicada no mapa 3D.

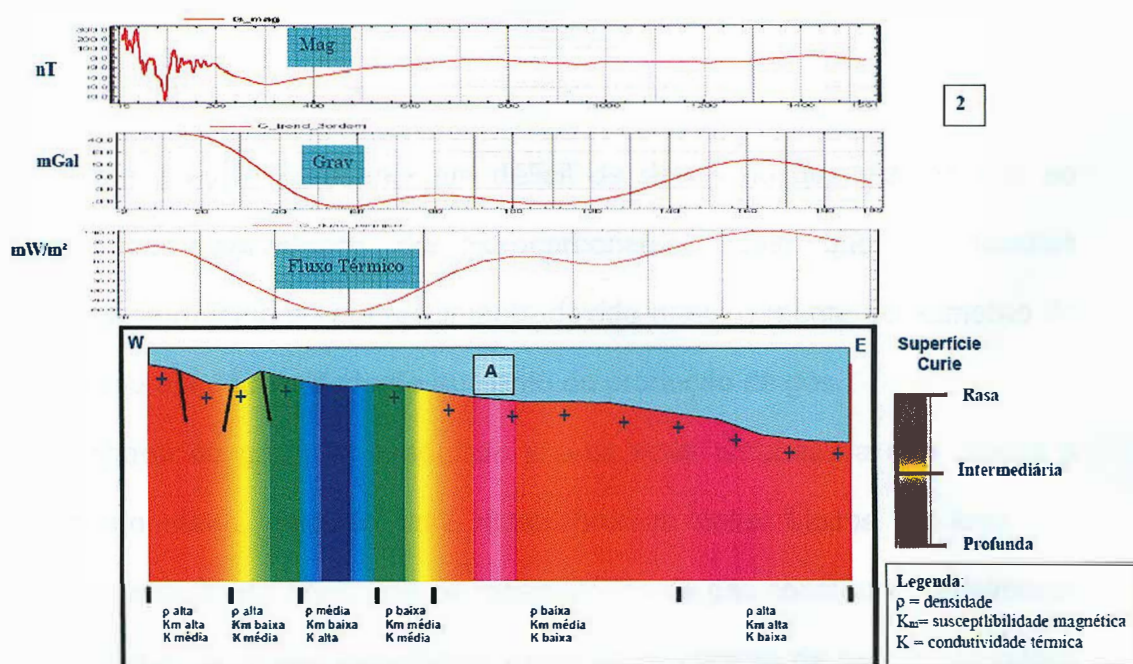


Figura 36: Seção geológico-geofísica 2 indicada no mapa 3D.

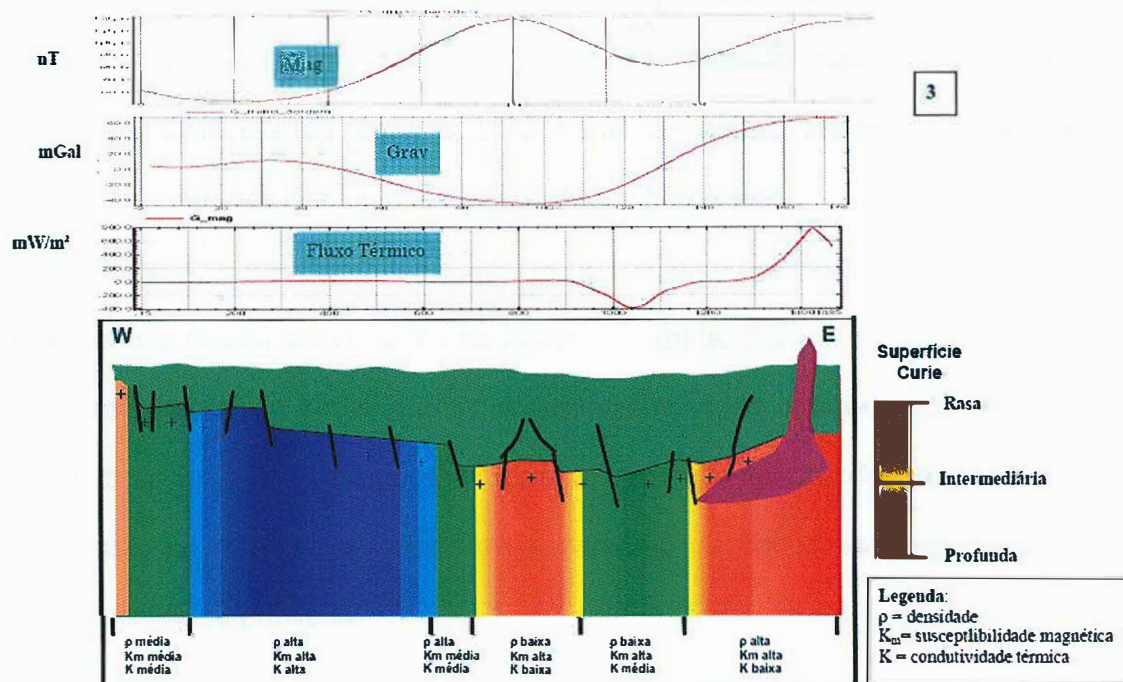


Figura 37: Seção geológico-geofísica 3 indicada no mapa 3D.

7 CONCLUSÃO

A área em questão apresenta um déficit de dados no que diz respeito ao conhecimento de reservatórios de hidrocarbonetos, posto que as missões exploratórias, já apresentam um crescimento devido principalmente ao aumento do preço do petróleo e a necessidade de aumento da produção de gás.

A descoberta de gás não associado é uma nova perspectiva que chama a atenção das empresas, gerando uma maior procura pelos blocos da área nas rodadas de negociação da ANP, pois os reservatórios de gás constituem atualmente um fator estratégico de suma importância frente às mudanças da matriz energética do sudeste do Brasil e da instabilidade do fornecimento proveniente da Bolívia.

O aumento da procura pelos blocos da área impulsionam os preços e o oferecimento de unidades de trabalho na área, gerando assim um maior conhecimento da geologia da área e uma base de dados importante para a integração das informações geológicas das bacias da borda leste.

Geologicamente, a área apresenta interesse adicional por fazer divisa com os importantes campos recém descobertos na bacia do Espírito Santo.

A bibliografia científica sobre a área apresenta um certa descontinuidade. Em relação á geologia local é vasta, porém quando se trata de estudos de caso, é bastante escassa, seja devido ao medo de vazamento de dados estratégicos seja pela escassez de dados públicos.

O aumento de interesse pela área irá gerar no futuro um aumento dessa bibliografia principalmente com relação ao potencial petrolífero da área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARKANI-HAMED, J. & STRANGWAY, D.W. 1985. Lateral variations of apparent magnetic susceptibility of lithosphere deduced from Magsat data. *J. Geophys. Res.* 90:2655-2664.
- ASMUS, H.E., GOMES, J.B., PEREIRA, A.C.B. Integração geológica regional da Bacia do Espírito Santo. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 25., 1971, São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1971. p 235-252, v.3
- BIZZI, LUIZ A., SCHOBENHAUS, CARLOS, VIDOTTI, ROBERTA M. E GOLÇALVES, JOÃO H.. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. Brasília. CPRM-Serviço Geológico do Brasil. 2003. 692p. ISBN 85-230-0790-3.
- BULINA, L.V., 1961 – The use of airborne magnetic prospecting data in deep-seated structure of the Earth's crust within the Siberian Platform. *Sovetskaya Geol.* 5:134-138.
- CASTILHO, JOSÉ GUILHERME DE. 2005. 177p. Dissertação (mestrado em Ciências em Engenharia Civil). Programa de Pós-graduação em Engenharia. UFRJ, Rio de Janeiro – RJ.
- CASTRO, ÁLVARO H. A., Geologia e Sistemas Petrolíferos das Bacias Sedimentares Brasileiras. Apostila da Petrobrás. Rio de Janeiro. 2004. p.109.
- D'AVILA, R. S. F., CRUZ, C. E., OLIVEIRA FILHO, J. S., DE JESUS, C. M., CÍCERO, P., DIAS FILHO, D. C., LIMA, C. C., QUEIROZ, C. L., SANTOS, S. F., FERREIRA, R. A.. Fácies e Modelo Depositional do Canyon de Almada, Bacia de Almada, Bahia. Boletim de Geociências da Petrobrás, v. 12, n. 2, p. 251-286, Rio de Janeiro. Maio/nov. 2004.
- DOBRIN, M. B., 1960 – Introduction to Geophysical Prospecting, Mc Graw-Hill, New York, 2a edic..
- DOBRIN, M. B.. Introduction to Geophysical Prospecting. 3º Edição. McGraw-Hill. USA. ISBN: 0-07-017195-5. 1976.
- FILHO, E.C.P., 2004 – Emprego de técnicas de sensoriamento remoto e métodos potenciais na caracterização estrutural do embasamento da bacia de Camamu-Almada. Tese de Mestrado, Engenharia Civil COPPE/UFRJ.
- GAGLIANONE, P.C., TRINDADE, L.A.F., NASCIMENTO, M.M., 1987, Avaliação geoquímica das bacias marginais ao Sul da Bahia, Brasil. In: Congresso Brasileiro de Geoquímica, 1., 1987, Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geoquímica, 1987.p. 467-491, v.2.
- GASPARINI, P.; MANTOVANI, M.S.M.; CORRADO, G. & RAPOLLA, A. 1979. Depth of Curie temperature in continental shields: a compositional boundary? *Nature* 278:845-846.
- GONÇALVES, FÉLIX T. T.. Controles Liminológicos sobre a Formação de Rochas Geradoras de Petróleo Lacustre: O Exemplo da Bacia de Camamu, Nordeste do Brasil. Geociências. V. 20, 2001, UNESP. São Paulo. p. 5-23.
- GONTIJO, R. 1996. *Estratigrafia de seqüências da plataforma carbonática do terciário da Bacia de Cumuruxatiba (Bahia, Brasil) – integração de múltiplas técnicas de análise estratigráfica*. Dissertação de M.Sc., Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, 2 volumes.

- GRANT, F. E WEST, G. 1965– Interpretation Theory in Applied Geophysics, Mc Graw-Hill, Colorado.
- HALL, D.H. 1968. Regional magnetic anomalies, magnetic units, and crustal structure in the Kenora district of Ontario. *Can. J. Earth Sci.* 5:1277-1296.
- HALL, D.H.; NOBLE, LA. & MILLAR, T.W. 1985. Crustal structure of the Churchill-Superior boundary zone between 80° and 98°W longitude from Magsat anomaly maps and stacked passes. *J. Geophys. Res.* 90:2621-2630.
- HUNG, Kiang Chang, KOWSMANN, Renato O., FIGUEIREDO, Antônio M.F. 1990b. Novos conceitos sobre o desenvolvimento das Bacias Marginais do Leste Brasileiro. In: RAJA GABAGLIA, Guilherme P.; MILANI, Edison José (Coord.). *Origem e evolução de bacias sedimentares*. Rio de Janeiro: Petrobrás, 1990. p. 269 – 289.
- KARAM, MÁRCIA. R. K., Integração de Ferramentas Multidisciplinares Para o Estudo de Feições Tectônicas e Sismoestratigráficas na Seqüência Pós-Rifte da Bacia de Camamu-Almada, Bahia. 2005. Tese de Doutorado. Doutor em Ciência de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro. COPPE. Rio de Janeiro.
- LIMA, S. W., MANSO C. L. C., ANDRADE, E. J. E GRILLO, J. L.. Bacia Sedimentares Brasileiras, Bacia de Camamu. Fundação Paleontológica Phoenix. Número 54, Ano 5, Junho de 2003.
- MILANI, E. J., BRANDÃO, J. A. S. L., ZALÁN, P. V. E GAMBOA, L. A. P.. Petróleo na Margem Continental Brasileira: Geologia, Exploração, Resultados e Perspectivas. *Revista Brasileira de Geofísica*. V. 18(3). Ano 2000. p. 351-396.
- MIZUSAKI, A. M. P. et al. Eventos magmáticos nas Bacias do Espírito Santo, Mucuri e Cumuruxatiba. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38., 1994, Camboriú: Sociedade Brasileira de Geologia, 1994, p 566-568.
- NAGATA, T., 1961 – Rock magnetism (Maruzen, Tokyo).
- NETTO, ANTÔNIO S. T. E SANCHES, CHRISTOVAM P. Roteiro Geológico da Bacia do Almada, Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*. Volume 21(2), Junho de 1991, p. 186-198.
- NETTO, ANTÔNIO S. T., FILHO, JOAQUIM R. W. E FEIJÓ, FLÁVIO J.. Bacias de Jacuípe, Camamu e Almada. *Boletim de Geociências da Petrobrás*. V. 8(1) Jan/Mar 1994. Rio de Janeiro. p. 173-184.
- NORBERTO R.; ROGÉRIO C. G.; MILHOMEM, P. S.; de LIMA, C. C. U.; MANSO, C. L. C. http://www.phoenix.org.br/Phoenix60_Dez03.htm
- OKUBO, Y., GRAF, R.J., HANSEN, R.O., OGAWA, K. & Tsu, H., 1985 - Curie Point Depths of the Island of Kyushu and Surrounding areas, Japan, *Geophysics*, v. 53, p.481-494.
- PALMA, J. J. C., 1984. Fisiografia da Área Oceânica. In: Schobbenhaus, C., 1984 – Geologia do Brasil; texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais, escala 1:2.500.000. DNPM.
- PARASNIS, D. S. 1997 – Principles of Applied Geophysics, Chapman e Hall, London, 2a edic..
- PETRI, SETEMBRINO. Geologia do Brasil. -- Sao Paulo :T. A. Queiroz, R1988[1983]
- PHOENIX, 2003 – Fundação Paleontológica Phoenix, Bacias sedimentares brasileiras, Bacia do Jequitinhonha, Luciano Seixas Chagas, Ano 5 número 59 (Novembro).

PITOMBO, J. S. 1998 – Avaliação Geofísica dos Aquíferos Costeiros da Costa Atlântica de Salvador-Bahia, Trabalho de Graduação, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.

RANGEL, H. D.. Manifestações magmáticas na parte sul da Bacia de Campos (Área de Cabo Frio) e na Bacia de Jequitinhonha. Boletim de Geociências da Petrobrás, V. 14, n.1, p. 155-160. nov. 2005/maio/2006. Rio de Janeiro.

RODOVALHO, N., GONTIJO, R. C., MILHOMEM, P. S., LIMA, C. C. U., MANSO, C. L. C.. Bacias sedimentares brasileiras – Bacia de Cumuruxatiba. Phoenix, Dezembro, 2003. http://www.phoenix.org.br/Phoenix60_Dez03.htm

SANDWELL, D. T., 1997 – Marine gravity anomaly from Geosat and ERS 1 satellite altimetry, *Journal Of Geophysical Research*, vl. 102, NO. B5, pags 10,039–10,054.

SANTOS, C.F., et al. Bacias de Cumuruxatiba e Jequitinhonha. Boletim de Geociências da Petrobrás, Rio de Janeiro, v.8, n.1, p 185-190, 1994.

SANTOS, L. A. R. F. 2000 – Avaliação dos aquíferos costeiros da área do rio Joanes-Jauá, Trabalho de Graduação, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.

SANTOS, C.F., GONTIJO, R.C. Compartimentação e alinhamentos estruturais da Bacia de Cumuruxatiba (BA). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37., 1992, São Paulo. Resumos... São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1992, p 564.

SANTOS, C.F.; GONTIJO, R.C.; ARAÚJO, M.B.; FEIJÓ, F.J. 1994b. Bacias de Cumuruxatiba e Jequitinhonha. Boletim de Geociências da Petrobras 8(1), 185-190.

SHARMA, P. ,1986 – *Geophysical Methods in Geology*, Elsevier, Amsterdam, 2ª edic..

SILVA, GABRIELE. S., O Sistema Rife da Bacia de Camamu-Almada – Analogia com Riftes Africanos Modernos. 2005. Dissertação. Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro. COPPE. Rio de Janeiro.

SILVA, M. G.. Processamento de dados sísmicos da Bacia do Tacutu. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade Federal da Bahia. Salvador. 2004.

SPECTOR, A., GRANT F.S., 1970 - Statistical Models for Interpreting Aeromagnetic Data, *Geophysics*, v. 35, n. 2, p. 293-302.

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P. E SHERIFF, R. E. 1990 – *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, 2ª edic..